昭和 40 年 6 月 3 日　第三種郵便物認可　平成 20 年 3 月 10 日発行（年 6 回 1，3，5，7，9，11 月の 10 日発行）富士時報　第 81 巻　第 2 号（通巻第 849 号）　ISSN 0367-3332

e-Front runners

富士時報

FUJI ELECTRIC JOURNAL

3
Mar. 2008

Vol. 81 No. 2

特集 計測制御システム

富士電機グループ

富士時報
FUJI ELECTRIC JOURNAL

3
Mar. 2008
Vol.81 No.2

特集 計測制御システム

目　次

特集 計測制御システム

新しい材料と計測制御技術　107（1）
宮野 健次郎

計測制御システムの現状と展望　108（2）
垣堺　健 ・ 若杉 繁実 ・ 木佐 一之

機械安全と機能安全への取組み ── Total Safety ──　114（8）
小塙 明比古 ・ 長谷川 正美

新情報制御システム「MICREX-NX」の機能拡充　121（15）
山野 景章 ・ 五十嵐 真 ・ 小林 祐介

PID 最適調整技術　126（20）
松本 宏治 ・ 大井 章弘 ・ 中沢 親志

エネルギープラントの最適運用システム　130（24）
小出 哲也 ・ 松本 宏治 ・ 北川 慎治

鉄鋼分野向け計算機システムにおける新フレームワークの適用　135（29）
吉川　肇

医薬品業界向け FDA 21 CFR Part 11 に対応した新情報制御システム「MICREX-NX」　140（34）
渡辺 大介 ・ 小林 益之 ・ 若杉 繁実

灰溶融プラント向け新情報制御システム「MICREX-NX」　145（39）
野村 和朗

天然ガスパイプラインの遠隔監視システム　149（43）
庄林 直樹

MICREX-SX と POD を核とする PLC 計装システム　153（47）
中間 倫之 ・ 野嶌 勝宏

インテリジェント端末による現場情報収集システムとそれを活用したハイレベル管理　158（52）
相馬　寛 ・ 荻山　泰 ・ 町田 善信

新型差圧・圧力発信器「FCX-AⅢシリーズ」　162（56）
木代 雅巳 ・ 但田 憲彦

新型可搬型超音波流量計「ポータフロー C」　166（60）
矢尾 博信 ・ 山田 和行

マルチループ・モジュール型調節計「PUM」　170（64）
小西 英之 ・ 安藤　淳 ・ 河合 富貴子

ペーパーレス記録計「PHR」「PHW」　174（68）
篠田 正紀 ・ 今野 久洋 ・ 西島 淳一

直接挿入レーザ方式ガス分析計「ZSS」　179（73）
金井 秀夫 ・ 中村 裕介 ・ 小泉 和裕

直接挿入形ジルコニア式酸素計「ZFK8/ZKM」　183（77）
加藤 修久 ・ 宇津木 喜弘 ・ 乾　貴誌

表紙写真

産業システム分野では，生産現場の改善あるいは革新の取組みが活性化してきたことにより設備投資が伸張している。富士電機の計測制御システムはフィールドから生産管理・経営レベルまで，生産現場に必要なさまざまなコンポーネント，ソリューションをシームレスに結合する“垂直·水平統合ソリューション”による全体最適なシステム構築が可能である。

さらに，重大事故や災害に対するリスクを低減し，人命・環境・設備に対して高い安全性を確保する要求が高まっており，安全に関する国際規格に準拠した新情報制御システム「MICREX-NX」をはじめ，機械安全・制御安全・機能安全のすべてを統一した安全ソリューションの提供を目指している。

新しい材料と計測制御技術

宮野 健次郎（みやの　けんじろう）
東京大学先端科学技術研究センター所長 Ph. D.

温度や圧力，イオン濃度や組成は製造工程における基本的なパラメータなので，常に計測され厳格に制御されている。たとえば，鋼材の強度は内部の組織によって変化するが，組織は材料の組成の他に冷却速度に依存することが知られている。そこで圧延によって鋼板を作るとき，厚さに応じて冷却法を工夫し内部の組織を所望のものにするということが行われる。このとき，シミュレーションによって探索すべきパラメータ空間を制限し，その中で実際にパラメータ値をふって試料を作製し，これを電子顕微鏡で観察するというサイクルによって最適値を見つける。このような探索法の裏には，結果はパラメータ値の連続関数であり，十分に多数のパラメータ点をとればその傾向から最適解が見つけられるという，アナログ的な暗黙の前提がある。

ところで最近，デジタル的な問題が我々を悩ますようになってきた。端的な例は，単一点欠陥が引き起こすDRAMのVariable Retention Time（VRT）と呼ばれる現象である。これはゲート絶縁膜中の一個の点欠陥に電荷がトラップされるか否かという2つの状態に応じてトンネルバリアが変化し，リーク電流が不規則に増減するためにデータの保持時間が何桁も変動するものである。この問題の本質的な困難は，明瞭に2値に分かれたデータ保持時間が発生するというスイッチング現象自体は容易に測定できるのに，その現象が起きるか起きないかという点については何も予見できないことである。

もちろん，多数のセルについてVRTの有無を測定した平均値の大小はプロセスのパラメータと対応しているはずであり，何をすれば発生数を減らせるかという議論をすることは原理的には可能である。しかし，そのためにはまず単一点欠陥がどのような過程を経て生成するのか，知っている必要があるように思われる。しかるに，“起きるか”“起きないか”といった中間的な結果を許さない現象に対して，実用的で有効な解決策を探索する手法は容易には見つかりそうにない。

同様の現象が，大学の実験室でもしばしば問題になるようになってきた。自分の経験に引き寄せて考えてみよう。私は遷移金属酸化物を研究対象にしている。遷移金属酸化物は多くが絶縁体であるが，酸化の程度によって絶縁体から金属に変化したり，微妙な構造変化によって何桁も抵抗が変化する場合がある。このとき，物質内の酸素の移動や構造変化が準安定的な2つの状態間で起こると，見かけ上VRTに類似したスイッチング現象となって現れる。この現象は永続的であり，しかも多くの物理パラメータに対して履歴を示すので，不揮発性メモリーという応用が直ぐ思い浮かぶ。特に電流や電圧について履歴を示す場合には，二端子だけで情報の読み・書きができる理想的なメモリーになるので，近年盛んに研究されている。

遷移金属酸化物自体は長い研究歴があり，その奇妙な振舞いも大まかには良く知られた現象であるにもかかわらず，最近特にこのようなスイッチング現象が盛んに研究されるようになってきた背景には，目覚しい計測器の進歩がある。サブpA，サブnVといった極限的な計測が容易にできるようになると，試料中のスイッチングを起こしている一点の特異的な振舞いが，バルク測定で再現性よく明瞭に誰にでも見えるようになったのである。

しかし今のところその一点を特定する方法も，またそれを設計して作ることもできない。膨大なバルク試料の中の（恐らくは原子レベルの）一点で起きているオン・オフ現象を明確にかつ容易に検出できる測定技術の強力さと，それがどこで何が起きているのかを特定する方法が無い無力さの対比は際立っている。

均一な材料を計測し制御する技術は非常に進歩した。しかし，本質的に不均一でかつ不均一であることによって興味ある性質を示す材料を，どのように測りどのように操作すべきなのか，計測に対する発想の転換が必要な時期なのかも知れない。

計測制御システムの現状と展望

垣堺　　健（かきざかい　けん）　　若杉　繁実（わかすぎ　しげみ）　　木佐　一之（きさ　かずゆき）

1　まえがき

産業システム分野における2006年度以降の設備投資の伸張は，生産現場において，生産工場の改善あるいは革新の取組みを活性化させてきた。計測制御システムの分野では，リプレース期に合わせたフィールドのインテリジェント化への取組みや，MES（Manufacturing Execution System），ERP（Enterprise Resource Planning），SCM（Supply Chain Management）などの基幹業務システムとの融合によるシームレスな生産情報管理システムの構築，さらには無線LAN導入によるITネットワークの構築など，多様なアプローチがなされるようになってきた。

製造業における製品品質は，製品そのものの品質はもちろんのこと，これを実現する組織能力，技術力など，企業におけるパフォーマンスの総体（経営の質）を意味している。“品質”はいまや目指すべき“企業の姿勢”であり，経営への直接的な影響を持った重要課題となっている。

これに伴い，近年のものつくり品質への取組みも，“製品検査中心”から“製造プロセスレベルでの品質保証”へと，その品質管理の質を高める方向に移行し，“見える化”に代表される，現場・管理スタッフおよび経営にわたる製造情報の共有化（垂直統合）やトレーサビリティー環境の整備が進展している。

一方で，重大事故や災害に対するリスクを低減し，人命・環境・設備に対して高い安全性を確保するため，プラントの安全性に関しても注目が集まっており，プロセスハザード解析に基づくアラームマネジメントシステムの導入が進展している。また，安全に関する国際規格IEC 61508，IEC 61511のJIS規格化を契機に，国際規格への対応が要求されるようになった。この要求を受け，これまで海外向け石油化学プラントなど特定分野に限られていた安全計装システムの適用範囲が今後拡大していくものと予測される。

さらに，運転コストの低減の要求と，自動化技術の進歩により大規模なプラントが少人数で運転されており，また，プラント建設当時から運転に携わってきた熟練運転員の大量退職が始まっている。一方，機器の高信頼性化や安定運転の実現が，BM（Break-down Maintenance）指数[注1]の大幅低下やトラブル経験の機会減少につながっている。これらの状況からプラント運転員や保守員に対する熟練技術の伝承が差し迫った課題となっている。この，いわゆる2007年問題は，今後さらに深刻化すると予想され，設備の安定稼動や異常対応への運転ノウハウを継承できる仕組みとして，運転支援システムの高度化へ要求が高まっている。

環境問題への対応に加え，最近の原油高騰に代表される原料価格の上昇は，省エネルギーに対する要請を促し，個々のプラント運転の最適化や，工場・地域でのエネルギー共有による最適化の試みが加速している。また，多変数形モデル予測制御に代表されるように，制御技術によるプロセス改善の適用が進むなど，制御現場では着実に改革が進行している。

本稿では，これら近年変貌（へんぼう）を遂げてきた計測制御システムに対する要求を踏まえ，“垂直・水平統合ソリューション”を提供する富士電機の取組みについて紹介する。

2　計測制御システムの市場動向と課題

2.1　DCSの市場動向と課題

1990年代にDCS（Distributed Control System）は，DCSメーカー専用のシステムから，UNIX[注2]やWindows[注3]など汎用的なOSをベースとするオープン化システムへと変遷してきた。また，Windowsのデファクトスタンダード化の進展に伴い，Windows上で動作する監視制御パッケージとしてSCADA（Supervisory Control and Data Acquisition）が出現し，SCADAをミドルウェアに適用したパソコンDCSが導入された。さらに，インターネッ

〈注1〉BM指数：BM件数/計器台数

〈注2〉UNIX：X/Open Co., Ltd.がライセンスしている米国ならびに他の国における登録商標

〈注3〉Windows：米国Microsoft Corp.の登録商標

垣堺　　健

計測機器の開発・設計に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部PIA統括部長。

若杉　繁実

エネルギー分野をはじめとした計測制御システムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部PIA統括部計測システム技術第一部長。計測自動制御学会会員。

木佐　一之

計測機器の開発・設計に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部PIA統括部計測機器技術第二部部長。

ト技術の進展とともに，Windows のデファクトなインタフェースである OPC〈注 4〉が DCS の世界にも浸透し，国際標準規格に対応したフィールドバスが適用され，DCS のオープン化をさらに加速させてきた。

2000 年代に入り PLC 計装システムが発売され，DCS メーカー，PLC メーカーと SCADA メーカーの計測制御領域のすみ分けは，さらに複雑になってきている。

一方で DCS は，ユーザーにとって，DCS の導入から更新に至るまでのトータルライフサイクルにわたって，TCO（Total Cost of Ownership）を効果的に下げる手段として見直されるようになってきた。さらに最近では，IT 関連技術の発達によって，DCS の位置づけは生産設備の自動化や省力化など監視制御の実現から，生産システムでの運転操業の現場と経営を直結し，経営効率や企業価値をいかにして最大化するかに注目点が移行してきている。

このような観点では，DCS は単独では存在し得ず，基幹業務システムである ERP や SCM，MES と連携し，効果的に運用される必要があり，シームレスな統合と MES をはじめとするソリューション商品の充実がベンダーの課題となっている。

サービスの面でも，設備の延命化により，長期にわたる DCS の保守保全が要求されており，オープン化による汎用品化と延命化の相反する命題をいかに解決していくかが大きな課題となっている。また，DCS の日本国内市場は，新規プラントの需要は少なく，プラントを維持するための設備更新需要が大半である。このため，ユーザー資産を継承しつつ革新的なシステムに移行するためのマイグレーション技術の供給が DCS メーカーとしての重要課題となっている。

〈注 4〉OPC：米国 Microsoft Corp. の標準インタフェース仕様

2.2　工業用計測機器の市場動向と課題

工業用計測機器はグローバル商品で，市場はここ数年，中国を中心とするアジア市場などでの設備投資増，特に計測機器の主要顧客である素材産業分野での設備投資増により回復している。また，温暖化防止など地球環境保護への関心の高まりの中，排出規制強化に伴う需要が中国を中心に伸張している。

工業用計測機器は，発信器や流量計のフィールド機器，記録計や調節計の受信計器，分析計に大別される。最近の計測機器の製品動向として挙げられるのは，フィールドネットワーク，ワイヤレス伝送や安全計装への対応である。2007 年 11 月に開催された国内最大の計測・制御技術の専門展である計測展（社団法人日本電気計測器工業会主催）においても，これらの機器の展示が多かった。また，海外メーカーの出展社数や展示規模が拡張し，アジア地区の計測機器市場への期待をうかがわせる。

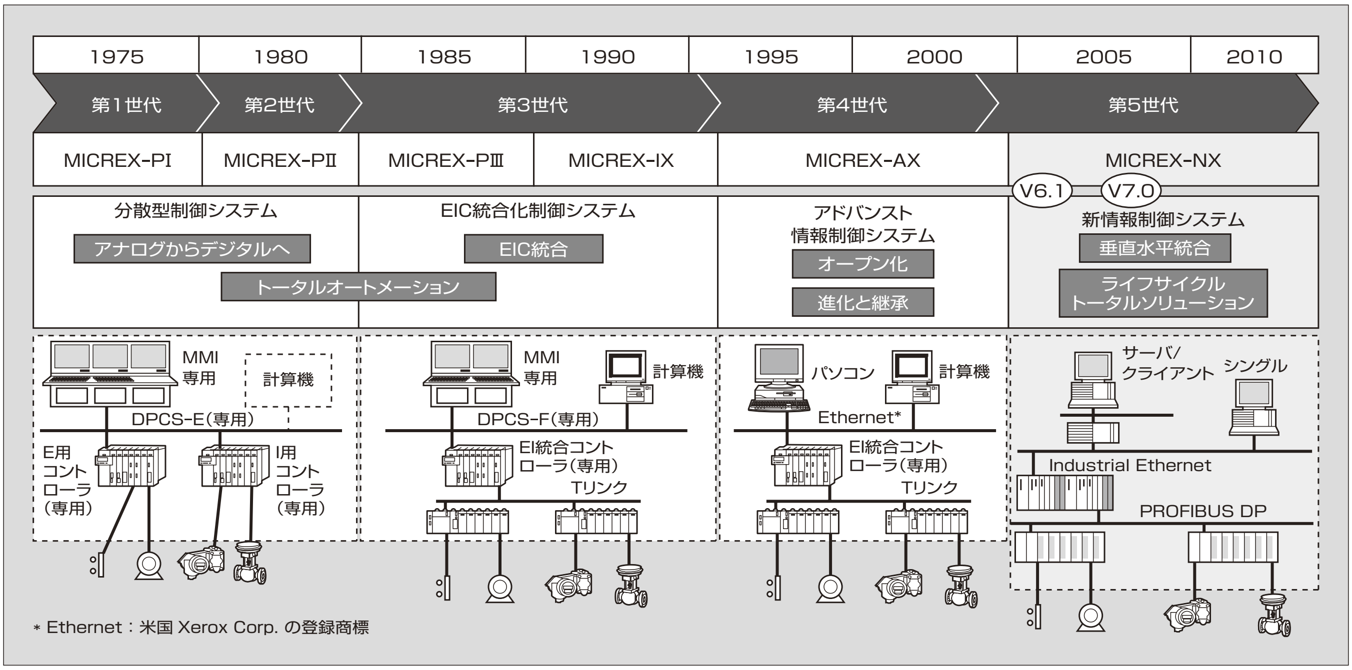
工業用計測機器の多くは計測制御システムに組み込まれるが，その需要構造はデファクトスタンダード化が進んだ結果，計測機器群として取り扱われ，グローバルな競争が繰り広げられている。これらに対応するには，市場の要求を着実に把握し，タイムリーな商品の市場投入や 1 台で広範囲の測定をカバーし機種数の削減ができるなどの付加価値の盛込みがますます重要になる。

3　富士電機の計測制御システムへの取組み(1)

3.1　DCS の取組み

計測制御システムは 1970 年代に DCS が出現したことで，高度化・高性能化が進展し，現在に至っている。富士電機では，**図 1** に示すように，第 2 世代で PA（Process

図 1　富士電機の計測制御システムの発展



Automation）と FA（Factory Automation）の融合によるトータルオートメーションを，第 3 世代では電気（E），計装（I），コンピュータ（C）機能の EIC 統合化を実現した。第 4 世代ではオープン化および進化と継承をコンセプトとした「MICREX-AX」を発表した。

2004 年に発売した新情報制御システム「MICREX-NX」は第 5 世代の DCS にあたる。MICREX-NX は，富士電機がドイツ・シーメンス社とプロセスオートメーション事業での協業の一環として，シーメンス社の DCS である「PCS7」をベースに共同開発した，垂直・水平統合ソリューションと，統合化エンジニアリングを特徴とする次世代情報制御システムである。この MICREX-NX は 2008 年 6 月に「MICREX-NX/V7.0」に機能拡充され，さらに進化する。

中小システム向けには，SCADA システムと汎用 PLC で構築できる「FOCUS」や「SIRIUS」があり，ニーズに幅広く対応できる。**図 2** に富士電機の計測制御システムのシステム構成と階層化を示す。

(1)　ライフサイクルトータルソリューション

富士電機は，これからの制御システムのコンセプトとして“ライフサイクルトータルソリューション”を提案している。MICREX-NX はプラントのシステム構築から運用（運転・保守），更新に至るライフサイクルの各フェーズにおいて，TCO の低減やプラントの最適経営を実現するため，さまざまなソリューションを提供する。次に，その特徴を示す。

(a)　スケーラブルでオープンな基本システム

(b)　基本システムと一体化した安全計装・安全 PLC など拡張性と先進性を備えたシステム構成

(c)　統合エンジニアリング環境での品質向上と高効率の実現

(d)　シミュレータ活用による効率的な工場試験・現地試験の実現

(e)　階層化設計と透明性の高いオペレーション機能

(f)　多重故障に強い冗長化と，容易な保守で稼動率向上

(g)　設備管理パッケージによる先見性の高いプラントメンテナンスの実現

(h)　既存資産を最大限活用するマイグレーション対応

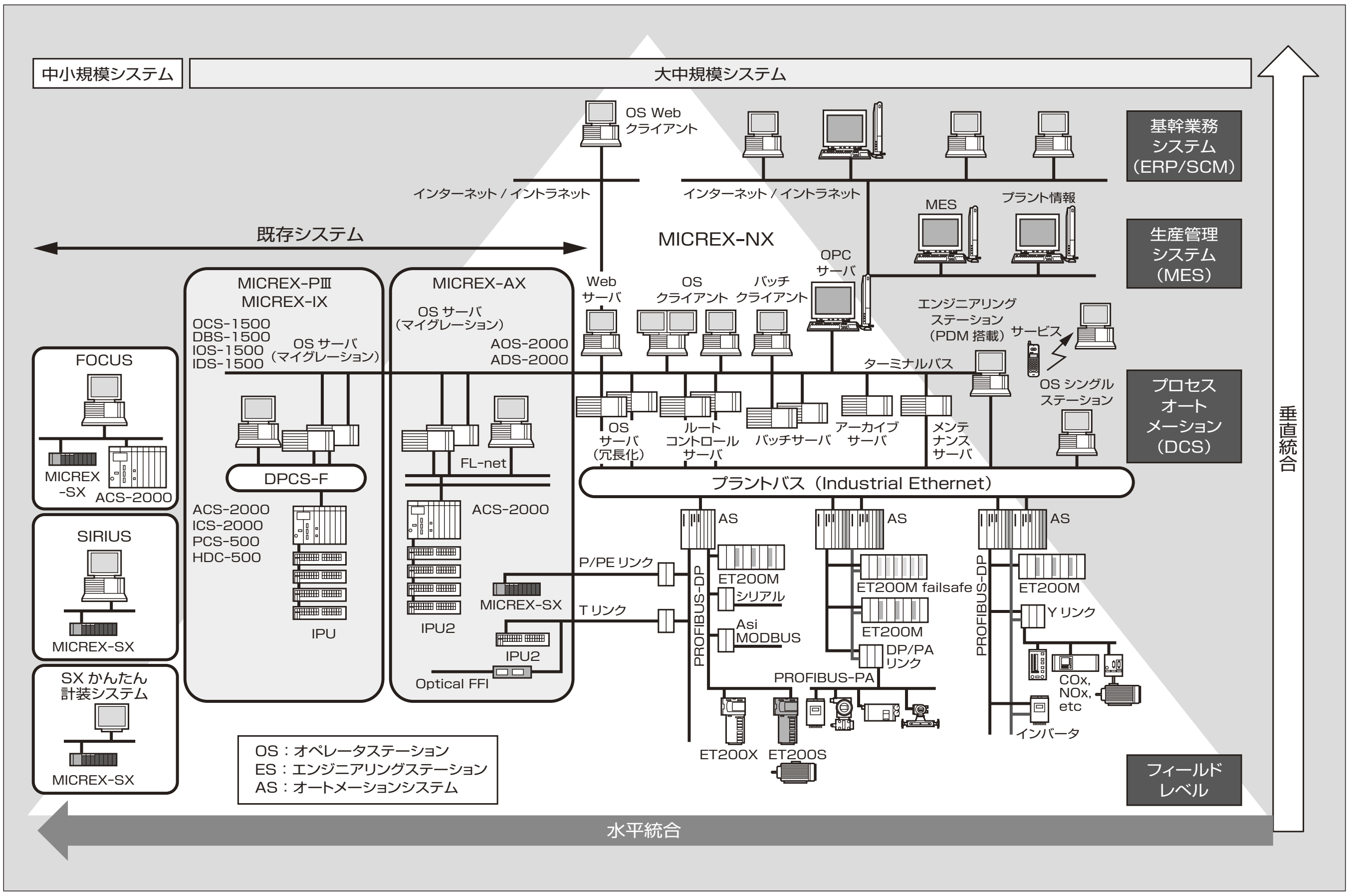
本号では，これら MICREX-NX の特徴を生かした，各分野におけるソリューションの事例について紹介する。

(2)　垂直・水平統合システム

(a)　垂直・統合システム

MES は生産の現場で計測制御システムと ERP や SCM のような基幹業務システムの中間にあり，生産現場の人，業務，もの，設備などの生産資源を最適化する役割を果たす。機能としては，工程管理，仕掛管理，進捗（しんちょく）管理，実績管理，生産設備管理，品質管理などで構成され，富士電機では，製造業向けの MES としてプラント系製造管理システム「MainGATE-Process」を提供している。ユーザーの要求により，最適

図 2　MICREX-NX のシステム構成



なMESのソリューションを提供しており，MICREX-NXとシームレスに結合することで，フィールドレベルから生産管理までの垂直統合システムを実現することができる。

(b)　水平統合システム

MICREX-NXは，プロセス制御からディスクリート制御までをカバーできるシステムである。工場の生産設備から物流，ユーティリティ設備までの広い範囲で，フィールドレベルのシステムを統合化することで，意思決定に必要となる情報を一元管理できる。さらに，いろいろな業種に適したシステムであり，工場の一括統合を実現する。

(3)　安全計装システム

MICREX-NXの安全計装システムは，ハードウェア，ソフトウェアともに，ドイツ技術安全機関TÜVによる適合認定がなされたものである。安全規格IEC 61508，IEC 61511に準拠し，安全性の定量的リスク評価に必要とされる安全度水準（SIL：Safety Integrity Level）のSIL 3に適合している。

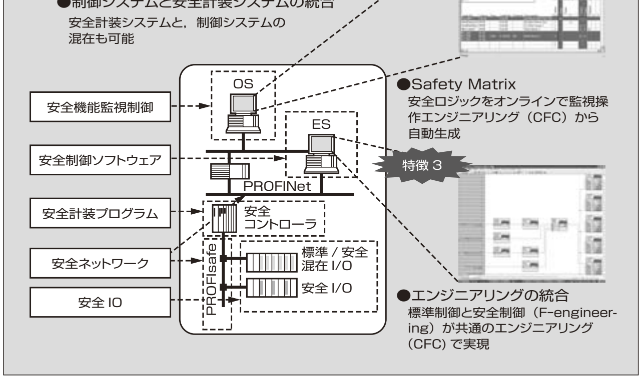
(a)　制御システムと安全計装システムの統合

安全計装システムの高度で特殊な要求に対応するため，安全計装システムを，制御システムと別に製品化する例が多い。これに対し，MICREX-NXの安全計装システムは，コントローラ，オペレーション環境，エンジニアリング環境など制御システムとの共通化が進んでおり，安全計装システムと，制御システムの混在も可能である。**図3**にMICREX-NXにおける安全計装システムの特徴を示す。

(b)　Safety Matrix

「Safety Matrix」とは，安全計装システムのエンジニアリングを容易にするツールである。CFC（Continuous Function Chart）に加えてSafety Matrixを利用することで，安全計装システムソフトウェアを簡単に作成できる。Safety Matrixで安全条件を入力すると，必要なセーフティ関数ブロックが展開されたCFCが自動生成される。また，エンジニアリング以外にも幾つかの機能

図3　MICREX-NXの安全計装システム



を含んでいる。

①　安全計装システムが動作した際に，HMI（Human Machine Interface）上にグラフィカルな表現で動作条件を表示できる。

②　確認作業，保守作業，およびシステム改良のための自動レポート機能を持っている。

Safety Matrixを使用することで，安全計装システムを比較的簡単に設計可能であり，同時に，HMIへの必要な条件表示，解析データの提供が行えるようになる。

(4)　MICREX-NX/V7.0での機能拡張

MICREX-NXは，2008年6月にV6.1からV7.0にバージョンアップする。**表1**に示すように，V7.0での機能アップは，コントローラ本体の性能アップを始め，アラームフィルタリング機能などアラーム管理の強化，マルチユーザーエンジニアリングの強化，並びにモデル予測制御などパッケージライブラリ追加など多岐にわたっている。本号の関連記事にその詳細を記載している。

(5)　ソリューションパッケージ

MICREX-NXは各製造業に対応する分野別パッケージのほか，情報管理パッケージを多数用意している。

(a)　設備管理パッケージ

(b)　バッチシステムパッケージ

(c)　ルートコントロールパッケージ

(d)　運転支援パッケージ

(6)　中小制御システム用計測システムパッケージ

富士電機では，中小制御システムとして従来から販売している「FOCUS」や，小規模制御システムに対応可能な「SIRIUS」に加え，「SXかんたん計装システム」用のSX計装パッケージを2007年に発売した。いずれのシステムもSCADAと汎用のPLCであるMICREX-SXで構成されたシステムであるが，富士電機の計測制御のノウハウをSCADAの上に載せることで，従来のDCSと変わらないエンジニアリング環境とオペレーション環境を提供している。

3.2　工業用計測機器の取組み

工業用計測機器はプロセス計装の源であり，生産性の向上，品質向上，予防保全などの面で重要な役目を担っている。ビジネスとしては工業用計測機器として計測制御システムからは分離される場合が多く，特徴・差別化が拡販には重要なポイントになる。各計測機器の取組みを以下に述べるとともに，**表2**に示す。

(1)　フィールド機器

フィールド機器は圧力・差圧発信器，流量計，温度計で代表される。

発信器は仕様・性能などがデファクトスタンダード化され，グローバルな市場で過酷な競争が行われている。さらに，長期安定性の向上，フィールドネットワーク対応機能，ワイヤレス伝送やSILに対する要求があり，対応を進めている。本号では長期安定性の改良や小型化を図った新型圧力・差圧発信器「FCX-AⅢシリーズ」を紹介している。

流量計には差圧式，電磁式，超音波式などがあり，超音

表１　MICREX-NX/V7.0機能アップ主要項目

分　類	機能UP項目	
ハードウェア	工業用PC 547B （デュアルコアプロセッサー，ギガビット Ethernet）	
	コントローラ用CPU (メモリ30Mバイト，命令実行速度18ns)	
オペレーション	アラーム管理	プロセス状態別のアラームフィルタリング
		オペレーターによるメッセージ抑制
	トレンド機能拡張（オンライン/アーカイブトレンド混在表示，トレンドデータ保存）	
エンジニアリング	バージョン管理	
	マルチユーザーエンジニアリング（ネットワーク経由）	
	バッチ制御とルート制御システムの連携	
パッケージ/ライブラリ	アドバンスト制御	モデル予測制御（MPC）
		制御パフォーマンスモニタ（CPM）
	運転支援システム	
	アセットマネジメント（ストロークカウンタ，運転時間）	
	トレンド・アラーム長期保存データのWeb表示	
安全計装	Safety Matrix	
	安全度水準SIL計算・評価ツールとの連携	
セキュリティ	セキュリティ通信モジュールSCALANCE S（VPN対応）	
	Windowsユーザー管理との統合ログオンサービス	
マイグレーション	FL-netゲートウェイ	
	IPU-Ⅱ接続	
その他（外部インターフェースなど）	外部システム接続ステーションSPOSA（Single Point Of System Access，OPC/OLE DB IF）	
	PROFIBUS DP/FFリンク	
	PROFIBUS PA 二重化	

表２　注力計測機器の取組み

機　種	キーとなる技術	取組み	主な適用分野					
			石油・石化	電機・電子	鉄　鋼	食品・医薬	環　境	水処理
圧力・差圧発信器	マイクロシリコンセンサ，低消費電力，ネットワーク	汎用（世界標準）発信器対応安全，無線	○		○	○		○
超音波流量計	耐気泡対応，パルスドップラー・伝搬時間差複合方式	高精度，口径範囲拡大	○	○	○	○		○
調節計	高速制御，高分解能，非干渉制御	高機能，高精度化，モジュール化		○		○		
記録計	高速サンプリング，ネットワーク	データ蓄積機能拡充，多チャネル化		○		○		
ガス分析計	赤外線センサ，直接挿入・レーザ・固体電解質	煙道直接挿入測定，多成分同時測定	○		○		○	

波式が非接触測定や工事の利便性の利点により需要拡大が期待される。富士電機では液体測定用に超音波式流量計を重要な機種として注力しており，取引証明用への展開を視野に入れた高精度ハイブリッド超音波流量計（伝搬時間差とドップラー効果の複合方式）や，半導体分野（純水製造装置），PA 分野や工場・事業所の給排水管理を対象に 0.2 秒の高速応答，小型化を図った設置型などを市場投入してきている。本号では，バッテリーで連続 12 時間動作可能な可搬型超音波流量計「ポーターフロー C」を紹介している。

(2)　受信計器

受信計器は記録計と調節計に大別される。記録計ではペーパー記録計からペーパーレス記録計への切換が進み，多様な通信，ロギング・データ蓄積機能，多チャネル・高速切換などの性能・機能が要求されてきており，対応を進めている。本号では，ペーパーレス記録計「PHR」「PHW」の詳細を紹介している。

調節計では初期のプロセス計装に活躍したシングルループ調節計はリプレース需要が主になっている。大中規模システムでは DCS や PLC に置き換わり，小規模システムでは機能アップした温度調節計などの汎用調節計に置き換わっている。また，機械装置組込み用の調節計は箱

物（パネル埋込み型）から表示操作部のないボード型，モジュール型が主流になりつつある。機械装置組込み用の調節計には制御精度の向上，通信機能の拡充，多チャネル制御，PLC 機能の取込みなどのニーズがあり，対応を進めている。本号では，マルチループ・モジュール型調節計「PUM」を紹介している。

(3)　分析計

ガス分析計の用途は大気汚染などの環境監視用と工業炉などの雰囲気を計測するプロセス用に分けられる。赤外線式，ジルコニア式，磁気式など従来からある測定原理をベースに多成分測定，自動校正などの演算機能の拡張などが図られてきた。最近では，レーザを応用した直接挿入形（煙道や煙突に直接センサを取り付けるタイプ）が導入されている。

環境監視用市場は世界的な地球環境保護の高まりと中国などでの法規制の強化で急成長しており，富士電機では固定発生源の排出ガス監視用にシンプルな構造で５成分（NO_x，SO_2，CO，CO_2，O_2）を同時に測定できる「シングルビーム赤外線分析計「ZRE」を 2007 年５月に市場投入した。また，本号で紹介している直接挿入レーザ方式ガス分析計「ZSS」を発売した。

3.3　計測制御技術の基盤整備に向けた取組み

計測制御技術はあらゆる産業の基盤技術であり，鉄鋼，石油化学，水処理などの異なる分野の技術を統合する，横断型基幹技術である。

富士電機では，計測制御技術をコアコンピタンスとして位置づけ，その向上を図るため，次のようなキーワードを基にその基盤整備に取り組んでいる。

(a)　安全計装技術
(b)　制御技術
(c)　システム化技術
(d)　組込ソフトウェア技術
(e)　ネットワーク・無線技術
(f)　センシング技術

これらの技術により，プロセスオートメーションだけでなくすべての産業・社会に対するソリューションを提供できるようになる。

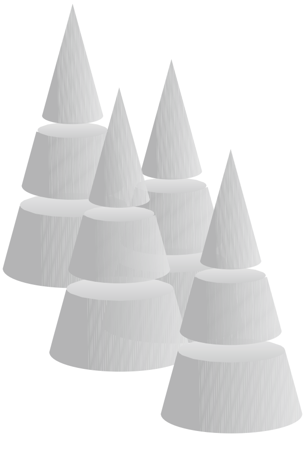
4　あとがき

生産システムの安全・安心の向上，運転効率，品質向上への要求，今後訪れる少子高齢化，世代交代に対応するため，計測制御システムの役割が高まってきている。

本号では，計測制御システムの安全・安心への取組み，ソリューション事例，基盤となる制御技術・計測機器などを紹介している。今後も最新の技術に着目してシステム開発につなげ，差別化したシステムのタイムリーな市場投入に注力していく所存である。

参考文献

(1)　戸高雄二ほか．計測制御システムの現状と富士電機の取組み．富士時報．vol.79, no.3, 2006, p.243-247.



機械安全と機能安全への取組み ―― Total Safety ――

特集

小塙 明比古（こはなわ　あきひこ）　　長谷川 正美（はせがわ　まさみ）

1　まえがき

最近，機械装置やプラントで重大な事故が相次いでおり安全・安心の向上へ社会的関心が高まっている。安全・安心の構築には，危険（リスク）発生の予測，設備の予防保全，プラントのセキュリティ，システム上のデータの電子記録など広範囲な応用技術が必要である。一方，設備設計やシステム設計の段階で安全を確保する新しい手法が，機械安全や機能安全として体系的に規格化されてきている。

本稿では，現在生産現場の設備やシステムに取り入れられてきている新しい安全構築の手法を概説するとともに，富士電機の安全への取組みを紹介する。

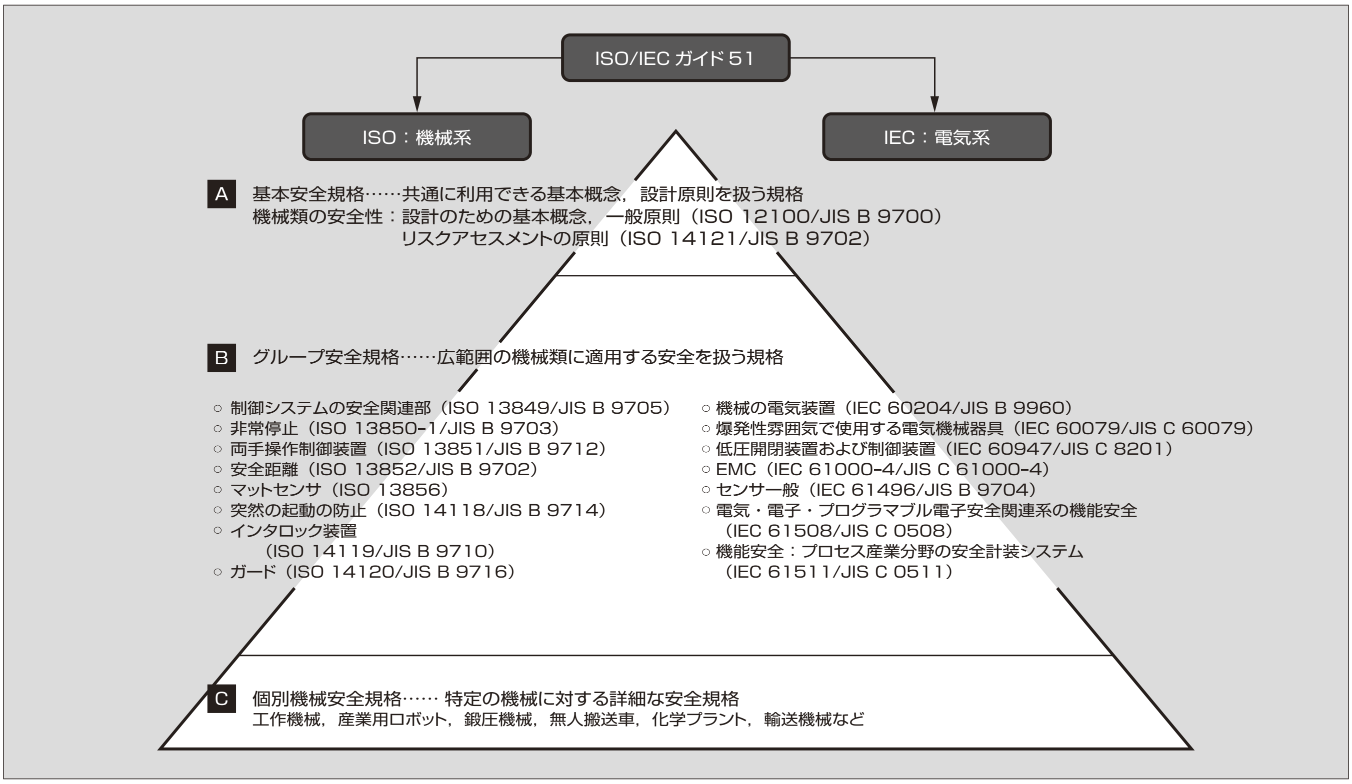
2　安全規格の内外動向

2.1　安全規格の整備状況

欧州では，安全性能に関する基本概念や設計原則を規定する安全規格が広く活用されてきた。これを背景にISO/IEC ガイド 51 が発布され[1]，国際規格 ISO 12100（機械類の安全性－基本概念，設計のための一般原則）が発行され，かつこの規格を頂点として，**図 1** に示す体系的な安全規格が構築されている。今後，個別の機械やシステムの安全規格がさらに充実されると予測される。

わが国では，WTO/TBT 協定にのっとり**図 1** の国際規格体系を受け入れ，ほぼ同じ体系で JIS を制定して安全規格を整備してきた。この動きと並行して国内法では，2006

図 1　安全規格の体系



小塙 明比古

低圧遮断器の開発設計，低圧機器・システム全般の商品企画に従事。現在，富士電機機器制御株式会社生産本部技師長。電気学会会員，電気設備学会会員。

長谷川 正美

安全計装システムの開発・設計業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部情報・制御センター制御システム部課長。計測自動制御学会会員。

図 2　改正労働安全衛生法

改正労働安全衛生法 11 のポイント

1	長時間労働者への医師による面接指導の実施
2	特殊健康診断結果の労働者への通知
3	危険性・有害性などの調査および必要な措置の実施
4	認定事業者に対する計画届けの免除
5	安全管理者の資格要件の見通し
6	安全衛生管理体制の強化
7	製造業の元請事業者による作業間の連絡調整の実施
8	化学設備の清掃などの作業の注文者による文章などの交付
9	化学物質などの表示・文書交付制度の改善
10	有害物ばく露作業報告の創設
11	免許・技能講習制度の見直し

対象：安全管理者の設置が義務付けられた全事業所

図 3　リスクアセスメントと安全対策

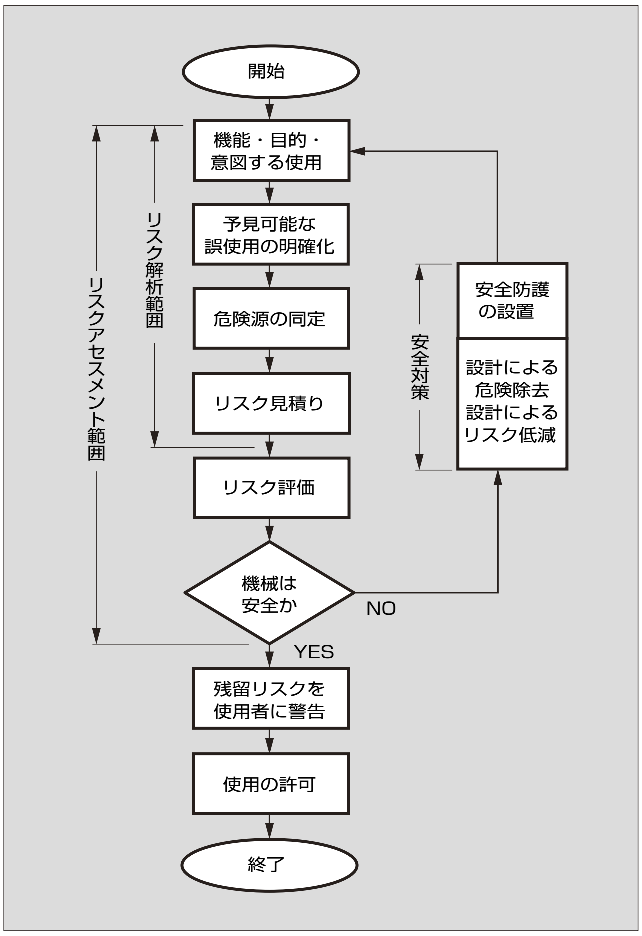
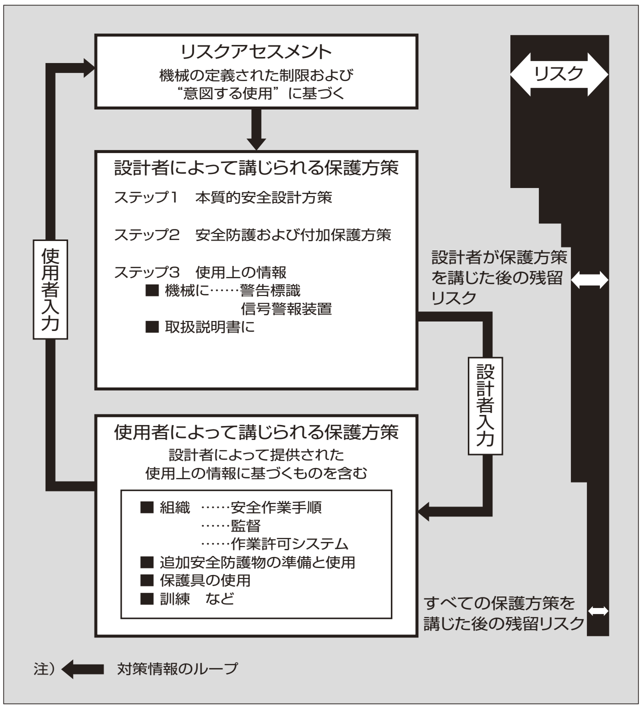


図 4　ISO 12100 基本概念



年 4 月に労働安全衛生法が改正され，「危険性・有害性等調査および必要な措置の実施」が法制化された。これにより，機械設備の新規導入や変更時，または作業方法や手順の変更時には，リスクアセスメントの実施が義務づけられた（**図 2**）。

従来，わが国は“安全は現場管理による”との考えに象徴されるように管理責任の意味合いが強かった。新しいリスクアセスメントの概念（ISO 14121）は，**図 3** に示す手順を用いて，危険源が事故に発展するプロセスを精査し，危険源と事故の関係を遮断する手段として確立された。すなわち“安全は危険源の管理による”ことが新しい国際的な安全規格の動向となっている。

2.2　設計者の観点によるリスク低減プロセス

ISO 12100/JIS B9700 では，安全設備・システムの一般設計原則として“設計者によって講じられる保護方策”と“使用者によって講じられる保護方策”が相互にフィードバックするサイクルを規定している。**図 4** に示すようにリスクアセスメントに対応した本質安全設計を中心に残留リスクを低減する方法は“設備に安全を造り込む”ことと理解される。すなわち，“機械は故障するもの，人は間違いを犯すもの”が前提となっている。このプロセスでは，危険源の同定，適切な対応策の適用など高い技術力が必要であり，富士電機では，この技術を持つアセッサーを養成中である。

3　Total Safety の考え方

現在の生産現場は，機械装置，それらの駆動装置，全体のコントローラ，反応プロセスを含む計装などが複雑に配置されている。しかも，安全系は標準系の一部として形成される。したがって，生産現場全体の安全系を構築する場合，性格の異なる安全基準を理解して適用しなければならず容易でない。しかも，従来このような生産現場の安全系は，労働安全衛生部門が統括している場合が多く新しい安全基準の適用の推進は，今後の課題となっている。富士電機では**図 5** に示すように，機械安全・制御安全・機能安全のすべてを統一し，顧客へのコンサルティングによる

安全ソリューションの提供を目指している。これが Total Safety の考え方である。

4　機械安全への取組み

FA 分野において，安全系を構築する場合，機械装置の運転に伴って危険な状況が生ずるシステムでは，基本的には“止める安全”を原則とすると言われる。具体的には，機械装置の危険源への侵入を直接ガードする方法に加えて，

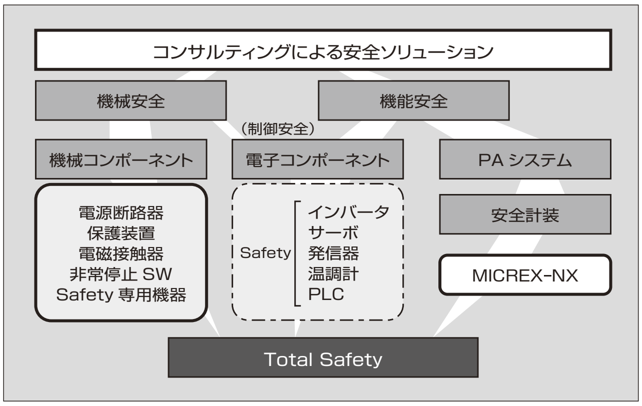


図 5　Total Safety コンセプト

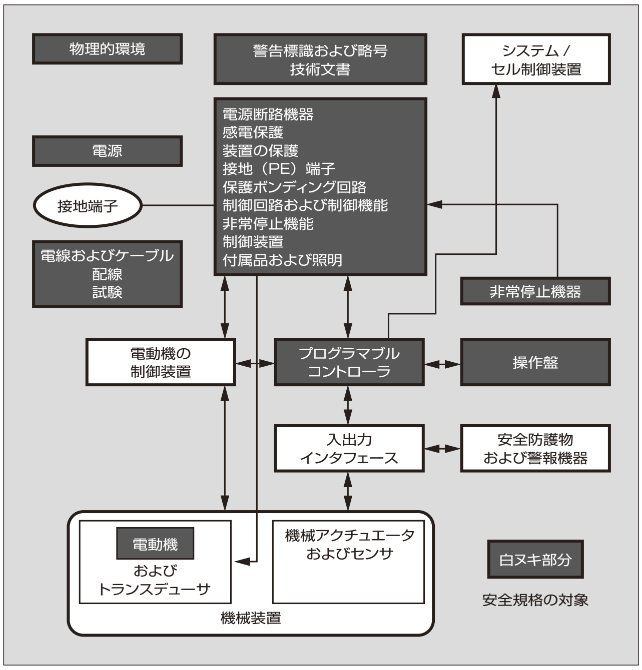


図 6　機械の電気装置の安全規格の対象項目

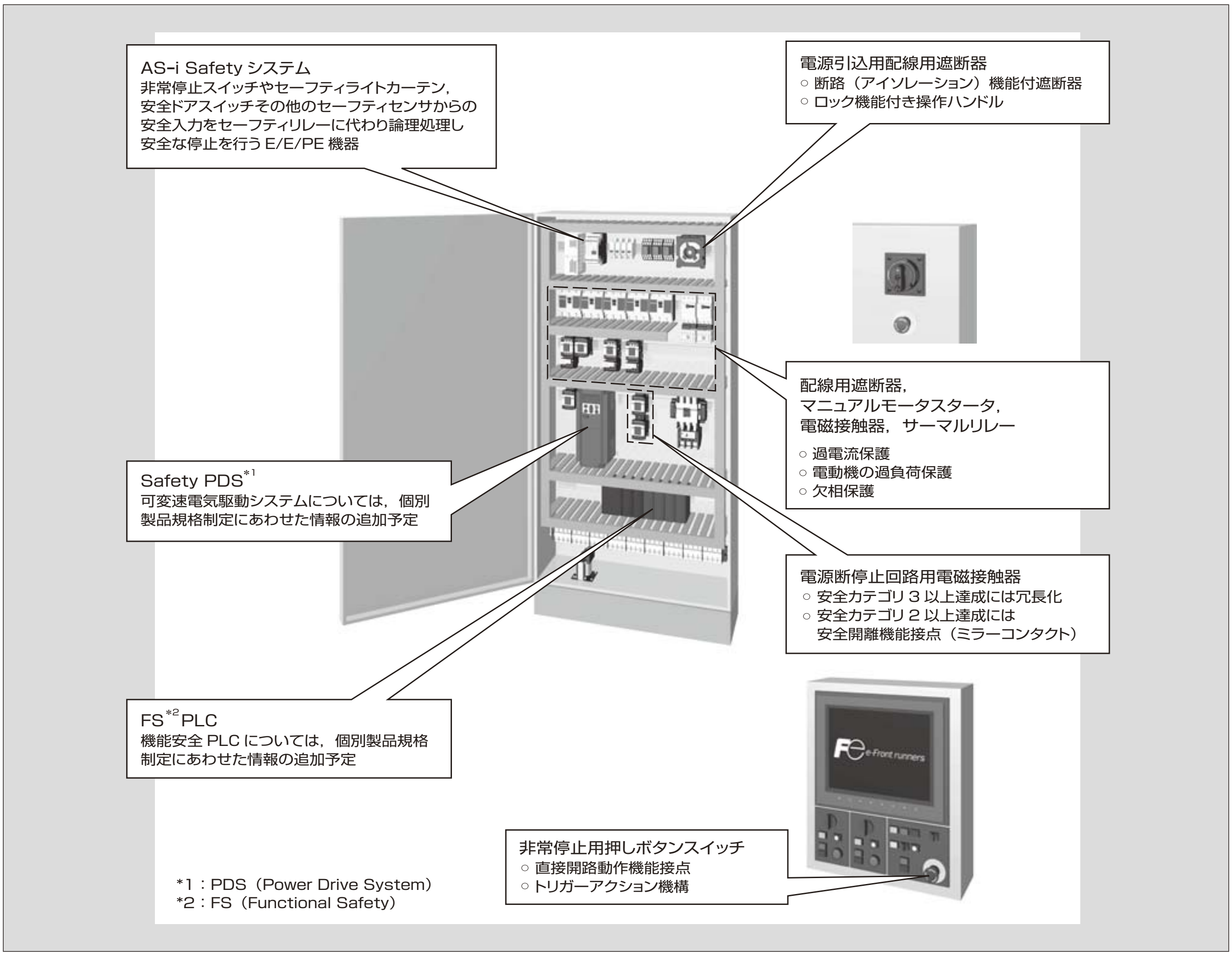


図 7　制御盤の安全システム

特集

表 1　機械の電気装置の安全要求事項と対応

IEC 60204-1・JIS B 9960-1要求事項	安全規格対応製品	備　考
4.2項　装置の選択	富士グローバル規格認証製品 配線用遮断器，電磁接触器，押しボタンスイッチなど	−
5.3項　電源断路機器	G-TWINブレーカ・ELB 外部操作ハンドル	アイソレーション適合 IEC 60947-2適合
6.2項　直接断路機器	フィンガープロテクション構造 （各種機器に搭載）	保護等級 IP20
7.2項　過電流保護	G-TWINブレーカ・ELB マニュアルモータスタータ	過電流保護機器間の協調
7.3項　電動機の過負荷保護	マニュアルモータスタータ 電磁接触器，サーマルリレー	過負荷/保護機器との協調
9.2項　制御機能	非常停止機能にカテゴリ0の停止を使用する場合は，ハードワイヤによる電気機械部品だけで構成しなければならない。	IEC改訂（2005年10月。JIS改訂中）によりハードワイヤ条項は削除され，電気・電子・プログラマブル電子機器の使用が可能になった。
9.4項　故障時の制御機能	電磁接触器	安全開離機能接点（ミラーコンタクト） IEC 60947-4-1付属書F
10.7項　非常停止用機器	非常停止用コマンドスイッチ	直接開路動作機能 IEC 60947-5-1付属書K適合 IEC 60947-5-5適合 セーフティトリガーアクション機能 ISO 13850適合
12.3項　エンクロージャの保護等級	コマンドスイッチ：IP65 外部操作ハンドル：IP54 （配線用遮断器用）	一般産業用エンクロージャの保護等級の要求 IP32，IP43，IP54

注）カテゴリ0 ： 機械アクチュエータを直接遮断する停止

機械の電気装置（IEC 60204/JIS B9960-1）の安全規格の適用が中心となる。**図 6** に機械の電気装置の安全規格の対象項目を示す。

4.1　機械装置システムの安全に関する規格

機械装置システムの安全に関する上位規格には ISO 13849-1，IEC 60204-1，IEC 61508 の三つがある。

(1)　ISO 13849-1

機械制御システムの安全関連部の一般設計原則で危険度と安全カテゴリーの分類を示している。2006 年度版では，定性的であったカテゴリーに危険側故障平均時間などの確率論のファクターが追加され PL（Performance Level）と改訂された。PL のレベルは，a（低）〜 e（高）の 5 段階となっている。

(2)　IEC 60204-1

機械制御盤の規格で，個々の部品への要求事項や**図 6** で示すような部品の相互関係を示している。機械系の安全は，固有機械の規格を除きこの規格に準拠する必要がある。

(3)　IEC 61508

機械装置を安全な状態に維持するための“機能”を実装した E/E/PE（電気/電子/プログラマブル電子）機器の製品安全を規定しており，インバータ，電子制御機器，PLC が該当する。本規格を基に上記の機器の個別規格が制定されつつある。

4.2　機械の電気装置の安全構築

図 7 に，機械装置制御盤の安全システム例を示す。この図で示す制御盤を構成する部品は，**表 1** の安全要求事項を満足する必要がある。特に主回路系の電気品や非常停止に関係する電気品は，従来要求されない規定が要求事項としてあることに注意が必要である。

富士電機では，この要求事項に対応するために原則として標準品に安全機能を取り入れた商品をラインアップしている。

5　機能安全への取組み

PA において，安全計装ループを構築する場合，多くの計測機器（圧力・差圧発信器）や安全コントローラ，安全 I/O を使う必要が出てくる。これらの機器は，機能安全規格（IEC 61508）に従った開発がなされ，第三者認証機関により安全に関して認証されたものでなければならない。富士電機では，①圧力・差圧発信器として「FCX-AⅡ/CⅡシリーズ」，②安全コントローラ，および安全 I/O として「MICREX-NX」を発売しており，“機能安全”の取組みを図っている。

本章では，その例として MICREX-NX で実現する安全計装システムについて紹介する。

5.1　安全計装システムに関する規格

安全計装システムに関係する規格には，IEC 61508 と IEC 61511 の二つがある。この二つの規格の違いは，IEC 61508 がデバイスの製造者・供給者を対象にし，IEC 61511 がシステムの設計者・インテグレータ・ユーザーを対象にしていることである。安全計装システムを設置する際には IEC 61511 に準拠する必要がある。

さらに，**図 8** で示すシステム全体の安全ライフサイクル（計画・設計・設置・運転・改修・廃棄）も詳細に規定さ

れている。国内では，IEC 61508 の対応規格がすでに JIS で制定されており，IEC 61511 の対応規格も 2008 年 2 月に JIS で制定された。

特集

図 8　Total Safety（IEC 61508：E/E/EP 安全系）

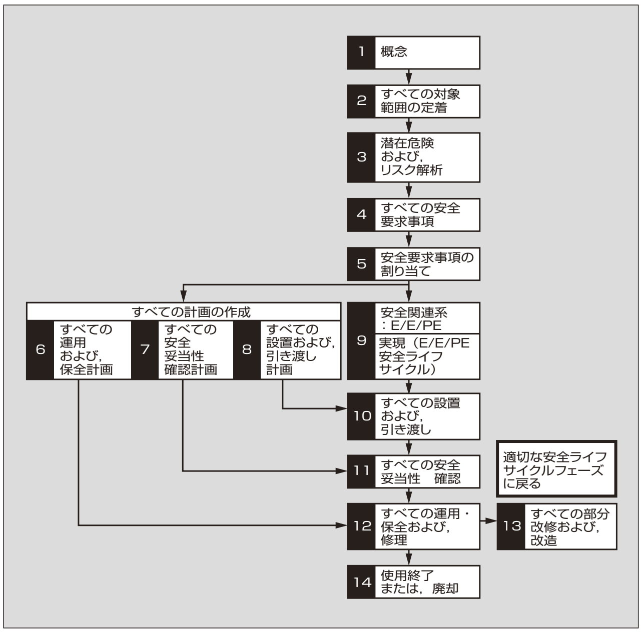


図 9　TÜV 認証証書

5.2　安全計装システム[2]

安全計装システム（SIS：Safety Instrumented System）は，プラント異常時のリスクを許容範囲以下に抑え，人命・環境・設備に対して高い安全性を確保する手段として必要なシステムである。従来，わが国ではリレー回路によるSIS が一般的であったが，欧米では新しい安全規格に準拠したコントローラを使ったSIS が普及している。

(1)　ハードウェアとソフトウェア[3]

(a)　安全コントローラ

MICREX-NX で実現する SIS について説明する。MICREX-NX は，IEC 61508 に準拠し，第三者認証機関である TÜV（Technischer Überwachungs-Verein：技術検査協会）から安全度水準 SIL（Safety Integrity Level）3 の認証（**図 9**）を取得したコントローラである（134 ページの「解説」参照）。MICREX-NX で使用する CPU は処理能力の異なる 3 種類（AS412，AS414，AS417）を用意し，かつ，シングル構成から完全冗長化まで豊富なバリエーションで柔軟なシステム構成を可能としている。その結果，顧客システムの規模や用途によってシステム方式を選択できる拡張性を持っている（**表 2**）。大きな特徴として，一つの CPU（シングル構成）で SIL3 を実現していることである。これは，一つの CPU 内で二つのプログラムロジックが実行され，演算結果から CPU の健全性をチェックすることが可能な

図 10　CPU の健全性チェック

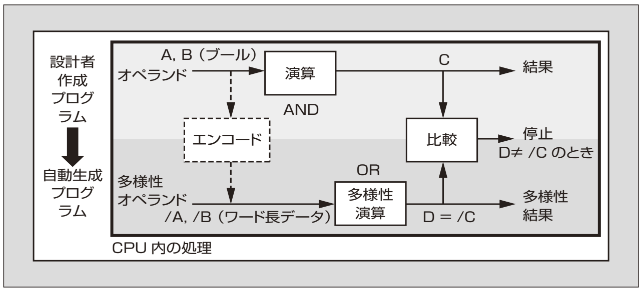


表 2　柔軟なシステム構成

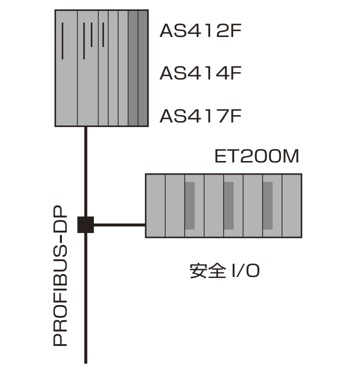
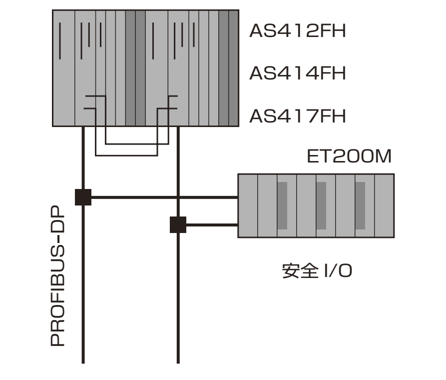
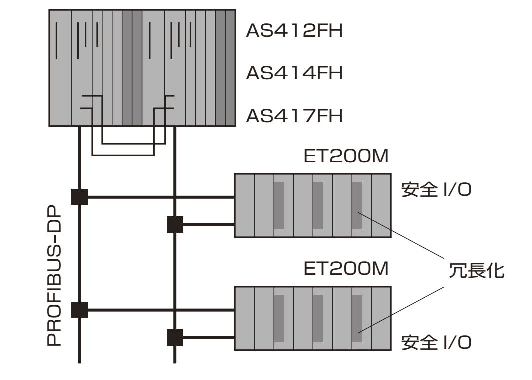
シングル構成	CPU，バス冗長化構成	CPU，バス，I/O冗長化構成
		
シングル構成でSIL3の安全水準を実現	CPU，バスの故障時もシステムを停止させることなく交換が可能	CPU，バスに加えI/Oの故障時もシステムを停止させることなく交換が可能

表 3　安全I/O

モジュール種別	入出力点数と安全レベル	電圧/電流仕様	設置環境
Digital input (DI 24)	24点：SIL2 AK4 12点：SIL3 AK6 (6点/コモン×4)	DC24 V	温度 水平取付：0〜40℃ 垂直取付：0〜60℃ 汚染環境 硫化水素H_2S：0.5 ppm以下 二酸化硫黄SO_2：0.1 ppm以下
Digital input (DI 8 NAMUR)	8点：SIL2 AK4 4点：SIL3 AK6	DC24 V	
Digital output (DO 10)	10点：SIL2 AK5 or SIL3 AK6	DC24 V 2 A	
Analog input (AI 6)	6点：SIL2 AK4 6点：SIL3 AK6	4〜20 mA 0〜20 mA* 0〜10 V*	

＊：Safetyモード使用時は，4〜20 mAのみ

図 11　PROFIsafe 通信テレグラム

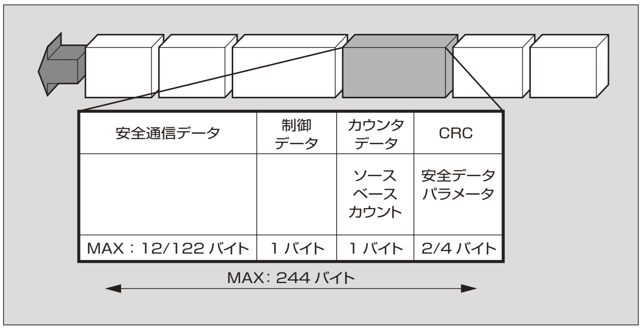
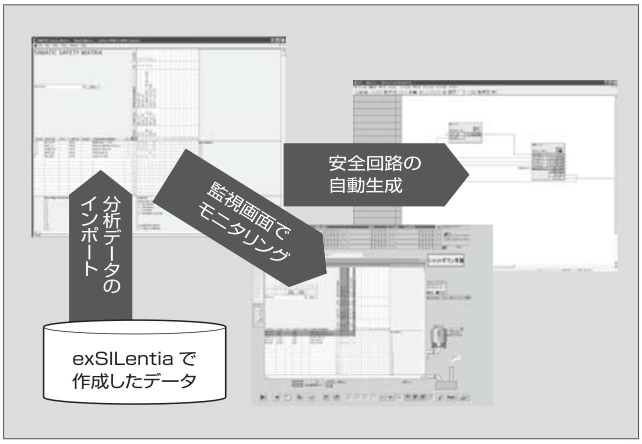


図 12　Safety Matrix の機能（エンジニアリング）



アーキテクチャとなっているためである（図10）。一つ目のプログラムは設計者が作成したものであるが，二つ目のプログラムは，一つ目のプログラムがコンパイルされ実行形式に変換される際に，システムが自動生成した逆ロジックのプログラムである。CPU 内には自己診断機能が搭載されており，電源投入時，システム動作時に異常が検出された段階でシステムが安全方向に働く指示をする。また，接続されている I/O の異常や配線の断線などを検出することが可能である。

(b)　安全 I/O

安全 I/O の種類を表 3 に示す。各 I/O もまた，SIL3 の認証を取得している。I/O 内部の二つの CPU で二重化入力信号，出力信号の妥当性チェックを行い，また自己診断回路によるクロスチェックにより安全度を高めている。

(c)　安全通信

安全コントローラと安全 I/O の間は，PROFIBUS-DP をベースとした PROFIsafe プロファイルを使うことで安全通信を実現している[4]。PROFIsafe は IEC 61508 に準拠した最初の通信システムである。安全レベルは SIL3 に適合し FA，PA の広範囲な分野に適用可能である。PROFIsafe の通信テレグラムは図11のとおりで，PROFIsafe プロファイルでは，安全 I/O の信号データの後ろに，制御データ，カウンタデータ，CRC（Cyclic Redundancy Check）データを付加し，安全通信データの欠落を防いでいる。

(d)　エンジニアリング

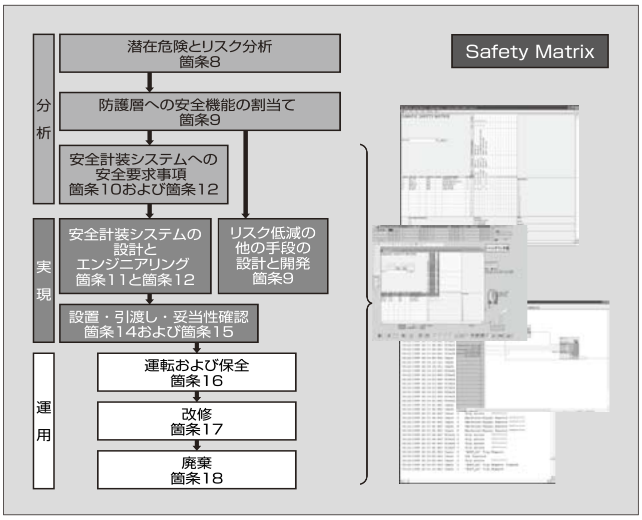
安全制御プログラムのエンジニアリングは，専用のセーフティ関数ファンクションブロック（FB）（50 種類）を使用して行う。このセーフティ関数 FB は第三者認証機関 TÜV の認証を受けている。

エンジニアリング画面上に必要な FB を置き，それらをマウスで結線し，コンパイルすることで安全制御データ形式に変換される。エンジニアリング時には，画面を開く際やローディングする際にパスワードを要求され，決められた設計者だけがソフトウェアの設計や変更をすることができる。このように，不用意に安全プログラムが改変されないようセキュリティが考慮されている。

(2)　Safety Matrix

MICREX-NX には，「Safety Matrix」というソフトウェアが用意されている。この Safety Matrix は，大きく三つの機能を持っている（図12）。一つ目は，安全回路の自動生成機能である。Safety Matrix 上で，横軸に異常状態である信号を定義し，縦軸に安全動作をさせたい機器への出力信号を定義する。交差する点に対して関連づけを行うことで容易に安全プログラムを作成できる。二つ目は，エンジニアリングで作成した Safety Matrix の情報をそのまま監視用画面にモニタリングさせる機能である。これにより，異常事象（どのような異常が起きて，何が止まったのか）への的確な対応をタイムリーにとることが可能となる。三つ目は，exida 社の「exSILentia」とのデータ連携を可能とする機能である[5]。exSILentia は SIS の作動要求あたりの機能失敗平均確率（PFD：Probability of Failure on

図 13　Safety Matrix の機能（ライフサイクル管理）



Demand）の計算，SIL 解析などアセスメントに利用されるソフトウェアである。この exSILentia で作成したデータを Safety Matrix にインポートすることで，さらにエンジニアリング効率を向上できる。また，Safety Matrix は，IEC 61511 が規定している安全ライフサイクル管理の一部に適応させることができ，エンジニアリングから管理まで，幅広く適用することができる（**図13**）。

(3)　SIS と DCS の統合

SIS が計測している状態監視や，ソフトウェアエンジニアリングは，**図14** に示すように DCS（Distributed Control System）と同じ装置を使用して行う。

(a)　状態監視

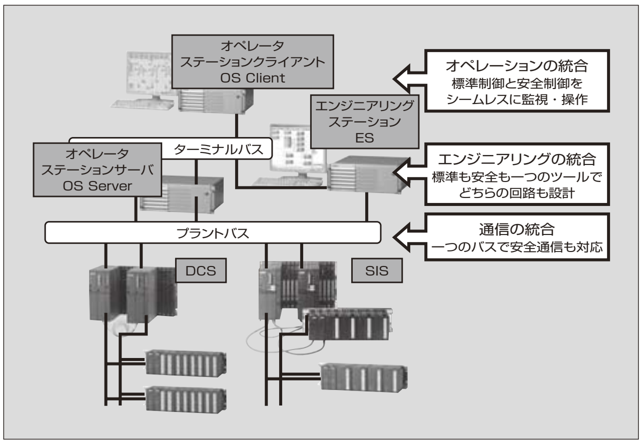
SIS が計測している状況の監視は，DCS の標準監視端末で行う。DCS と同じ監視端末ということは，以下のような利点がある。

○ 緊急時でも慌てずに確実に監視・操作が行える。
○ SIS 動作状態と制御システムの状況を同一画面で確認でき，プラントの状態を的確に把握できる。

(b)　エンジニアリング

SIS エンジニアリングは，DCS と同じ標準エンジニアリングステーション（ES：Engineering Station）を使って行う。エンジニアリングは，通常の DCS で使用する CFC（Continuous Function Chart）を使用して，同一の環境と手順で行える。つまり，二つのエンジニアリングを使い分ける必要がないので効率のよいエンジニアリングが可能となる。また，DCS 側と信号の受渡しを行う場合でも，専用のインタフェース関数 FB を使用することで，システムの違いを意識することなく SIS を構築できる。

図 14　SIS と DCS の統合



6　あとがき

Total Safety を目指した富士電機の機械安全と機能安全への取組みについて紹介した。安全は，機械安全だけ，機能安全だけでは成り立たなく，その両方を取り入れ総合的にプラントや設備の安全を考慮する必要があると考えている。今後も，国際規格に準拠して安心できる安全を“Total Safety”ソリューションとして提供していく所存である。

参考文献

(1)　IEC.
http://www.iec.ch/（参照 2007-12-21）
(2)　長谷川正美．制御システムとの統合を目指した安全計装システム．計装．vol.49, no.11, 2006, p.48-54.
(3)　池田卓史ほか．生産を最適化する新情報制御システム <MICREX-NX>．計測技術．466, vol.35, no.9, 2007, p.16-17.
(4)　日本プロフィバス協会．
http://www.profibus.jp/index.htm（参照 2007-12-21）
(5)　exida 社．
http://www.exida.com/（参照 2007-12-21）

新情報制御システム「MICREX-NX」の機能拡充

山野　景章（やまの　けいしょう）　　五十嵐　真（いがらし　まこと）　　小林　祐介（こばやし　ゆうすけ）

1　まえがき

「MICREX-NX」は新情報制御システムとして2004年9月の発売以来，80システムを超える納入実績を積み重ねてきている。適用分野は水処理，鉄鋼，セメント，ごみ処理，薬品，石油化学など多岐にわたる。

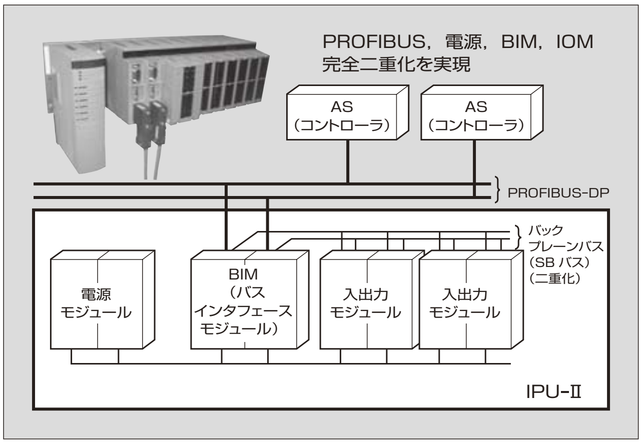
また，このシステムは，MES（Manufacturing Execution System：生産実行システム）とDCS（Distributed Control System：分散型制御システム）の連携という垂直統合，プロセス制御と電気制御，さらにはドライブ装置から計測機器までをも統合する水平統合という特徴も持っており，高い評価を得ている[1]。

常に変化する市場のニーズや技術に対応し最適なソリューションを提供するために，MICREX-NXの開発を継続している。本稿では，2008年6月に市場投入予定である「MICREX-NX/V7.0」の主な特徴について紹介する。

2　オープンPIO「IPU-Ⅱ」の接続

MICREX-NXシステムに国際標準規格のPROFIBUS-DPで接続できるオープンPIO「IPU-Ⅱ」を開発した。これにより，MICREX-NXのI/OであるET200Mと合わせて，幅広い種類のI/Oラインアップを提供する。

図1　IPUⅡの二重化構成



IPU-**Ⅱ**は，PROFIBUS-DP回線の二重化，I/Oモジュールの二重化，電源モジュールの二重化などすべての構成要素を二重化対応し，高い信頼性を実現した（**図1**）。これらにより，IPUの構成を次のようにした。

(1)　ベースユニット

128 Mbit/sの二重化されたバスを搭載した取付けボードである。

(2)　電源モジュール

AC電源とDC電源が選択でき，電源の二重化も可能である。

(3)　バスインタフェースモジュール

PROFIBUS-DPをサポートした二重化対応伝送モジュールである。

(4)　入出力モジュール

各種のプロセス入出力信号のアナログ入出力，デジタル入出力などの取合いを行い，二重化構成や活線着脱ができる。

既設のIPU-**Ⅱ**もバスインタフェースモジュールを交換するだけでMICREX-NXに接続できる。

さらに，過酷なフィールド環境へ設置できる耐腐食性ガス性能を実現した。

3　FL-net用ゲートウェイ

世の中で広く使われているオープンなEthernet[注1]ベース制御LANであるFL-netをMICREX-NXに接続するゲートウェイを開発した（**図2**）。富士電機製のみではなく他社製のプログラマブルコントローラ（PLC）システムをMICREX-NXに直接接続し，MICREX-NXのOS（Operator Station）クライアントからPLCシステムを監視・制御することができるマルチベンダ環境を提供する。

主な特徴は次のとおりである。

(a)　他社製のPLCシステムをMICREX-NXに容易に

〈注1〉Ethernet：米国Xerox Corp.の登録商標

山野　景章

新情報制御システム「MICREX-NX」の企画・開発業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部情報・制御センター情報制御開発部。

五十嵐　真

新情報制御システム「MICREX-NX」の企画・開発業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部PIA統括部統合システム部。

小林　祐介

新情報制御システム「MICREX-NX」の企画・開発業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部PIA統括部統合システム部。

図2　FL-net 用ゲートウェイ

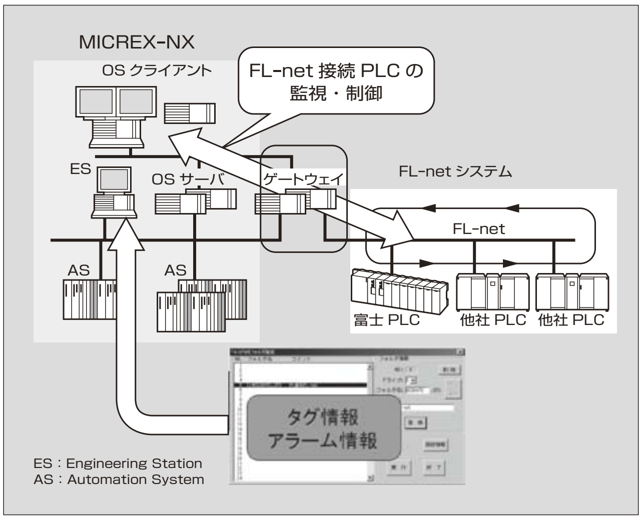


図3　運転支援パッケージ

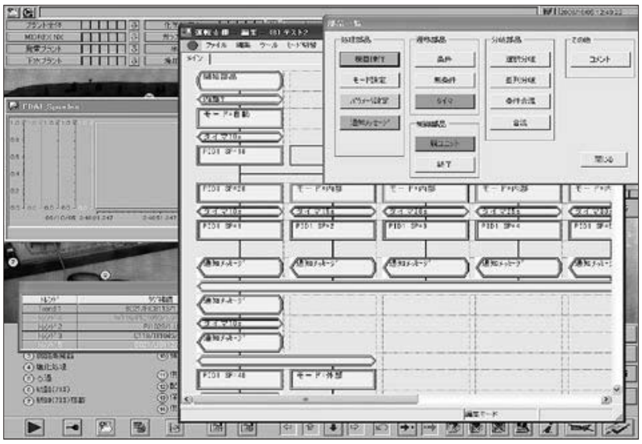


表1　IL43とRackPC547Bスペック比較

		IL 43（従来機種）	RackPC 547B（新機種）
CPU性能		Pentium4：3.4 GHz，HT 800 FSB（シングルコア）	Core 2 Duo E6600：2×2.4 GHz, 1066 FSB （デュアルコア）
メモリ性能容量		DDR2-533 SDRAM（PC2-4200）	DDR2-667 SDRAM（PC2-5300）
	OSサーバなど	合計1 Gバイト	合計2 Gバイト
	OSクライアント	合計512 Mバイト	合計1 Gバイト
HDD性能容量		S-ATA 150	S-ATA 300
	OSサーバなど	120 Gバイト ミラーリング	250 Gバイト ミラーリング
	OSクライアント	120 Gバイト	250 Gバイト

接続できる。

(b)　PLC サイクリックデータなどへのタグ割付けをサポートし，このタグへのアクセスができる。

(c)　複数タグを組み合わせた擬似内部計器モジュールを定義し，このモジュールを用いたアラーム監視，計器操作を実現している。

(d)　ゲートウェイ装置自身の二重化構成を実現している。

(e)　PLC サイクリックデータとコントローラ間のデータ交換を実現している。

本ゲートウェイでの PLC サポート機能の追加により，従来の DPCS-F ゲートウェイによるマイグレーション接続と合わせ，MICREX-NX の適用範囲が拡大された。

4　運転支援パッケージ

図3に示す運転支援パッケージは，OS クライアント上で動作するソリューションパッケージである。オペレーター自身がプラント運用時の操作履歴を利用しながら，フローチャート形式の運転フローを記述し，そのまま実行できる。これにより，従来熟練オペレーターの経験や勘に頼っていた非定常運転の定型化・半自動化を促進できる。

このパッケージの特徴を以下に述べる。

(1)　直感的で容易な運転フローの作成

機器操作やパラメータ設定，手動介入通知メッセージなど業務に対応した多彩な部品をドラッグアンドドロップするだけで，運転フローの作成ができる。

さらに，エンジニアリングステーション上でオペレーター自身が行った操作履歴を運転フローへ自動展開することができる。

(2)　運転フローのオフラインチェック

試運転モードにより，作成した運転フローをプラントへの実出力なしで実行確認できる。

(3)　トレーサビリティ

運転フローの実行結果は，操作履歴としてオペレーターの行った手動操作と一括で管理できる。

5　新ハードウェア

MICREX-NX は，基幹ハードウェアも種々の改良を行っており，主要な2製品について紹介する。

5.1　産業用ワークステーション「RackPC 547B」

OS サーバ/OS クライアント向けハードウェアである「RackPC 547B」は，従来機種である IL43 の外形寸法を維持しつつ，CPU 性能やメモリ・HDD 容量など**表1**に示す性能向上を実現している。

さらに他の MICREX-NX 製品と同様，最大10年間保守にも対応しており，より快適かつ長期間のプラント運用

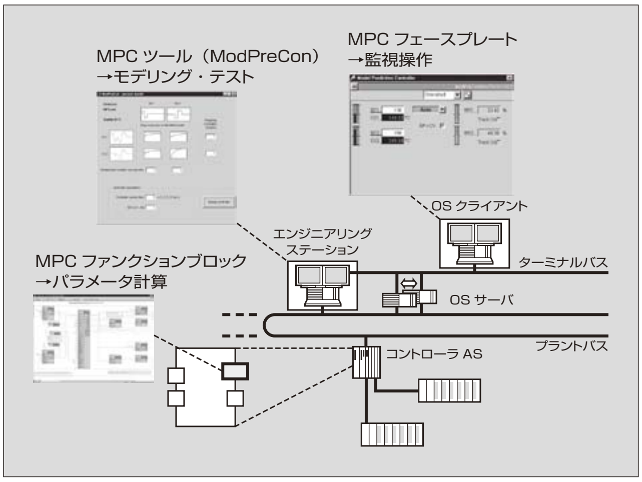


図 4　モデル予測制御システム構成

に耐えるシステムを構築できる。

5.2 新コントローラ「AS417-4-1H/2H」

「AS417-4-1H/2H」は，従来機種と比べ，処理性能が66% 向上し，プログラムやデータを格納する内蔵メモリ容量は 1.5 倍の 30 M バイトに拡張された。

これにより，一層高度なプラント制御に対応するとともに，保守容易性と故障時の復旧時間短縮を実現した。

6　アドバンストプロセス制御

アドバンストプロセス制御（APC）は，モデル予測制御（MPC），制御パフォーマンスモニタリング（CPM），ゲインスケジューリングなどを含む制御機能ライブラリである。MICREX-NX の APC は，手入力不要かつ強力なエンジニアリングツールにより熟練エンジニアを不要とし，加えて省エネルギー，省資源，制御安定化によるプラントユニットの高寿命化（メンテナンス省力化），モデル予測によるプロセスの状態把握ができる。また，既存の MICREX-NX のアプリケーションに簡単に追加できる。一方，特別なハードウェアの追加は不要である。

モデル予測制御の導入手順例を以下に示す。

(a)　コントローラに MPC 用ファンクションブロックをドラッグアンドドロップで挿入する。

(b)　プラントと組み合わせて測定用動作テストを実施する。

(c)　ツール上で MPC をデザインする（クリック 4 回）。

(d)　モデルをコントローラのファンクションブロックに挿入する。

この 4 段階の操作で完了し，**図 4** に示すように各操作はグラフィカルなインタフェースで分かりやすく構成されており，統一された MICREX-NX の手法でエンジニアリングできる。

このほかにも適応制御，PID チューニング，ファジィ制御などの豊富なメニューをラインアップし，加えてむだ時間（スミス法），オーバライド，フィードフォワードなどの汎用的制御のテンプレートを利用できる。

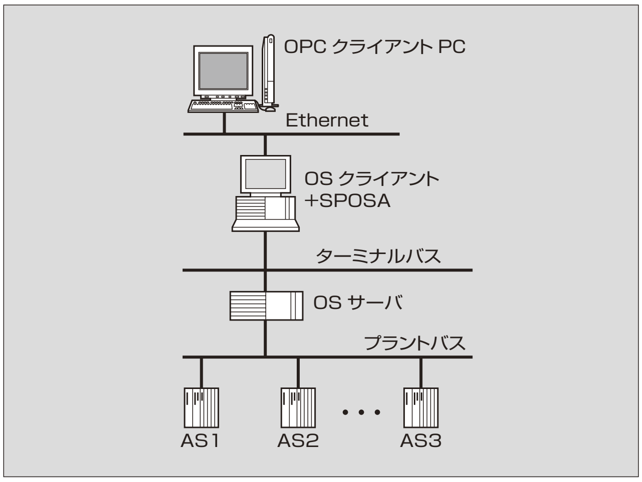


図 5　小規模システム構成例

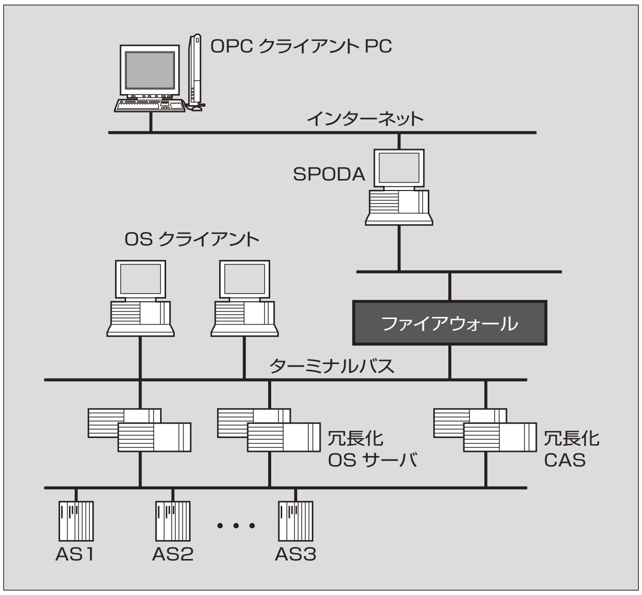


図 6　中大規模システム構成例

7　OPC サーバ「SPOSA」

「SPOSA」（Single Point Of System Access：エスポーザ）は，OPC インタフェースで MICREX-NX へアクセスする OPC サーバである。SPOSA により，MES や ERP などの上位システムへの統合アクセスポイントを提供する。従来は，アクセスするデータによってアクセス方法およびアクセス先を使い分ける必要があったが，タグの値と OS サーバ内のデータベース値へのアクセスを統合したことにより，**図 5** や**図 6** に示すようにさまざまなプラント規模と要件に適合させることができる。

上位システムから標準 OPC インタフェースにて以下の OPC サーバにアクセスが可能である。

○ OPC-DA サーバ（Ver 3.0）
○ OPC-HDA サーバ（Ver 1.2）
○ OPC-AE サーバ（Ver 1.1）

特集

OLE DB とのアクセスのためには，OLE/DB Provider が用意されている。上位システムアプリケーションからは Visual Basic，Access，Excel〈注 2〉などを使用してコミュニケーションすることが可能である。

SPOSA は，OS クライアントと同じパソコンにも，別のパソコンにもインストールすることができ，またファイアウォールの外側に配置することもできる。

8 プラントセキュリティ

近年，プラント制御ネットワークのオープン化が進み，上位システムとのタイムリーかつシームレスな情報交換が可能になった一方で，通信経路の拡大による機密漏えいリスクも増大傾向にある。

MICREX-NX は，オープン性を維持しつつ，複数の独自・汎用技術を組み合わせた“階層防御”によりプラントセキュリティを低コストで最適化する環境を提供する。

(1) SIMATIC セキュリティコントロール

Windows〈注 3〉ファイアウォール，DCOM〈注 3〉などの最適な自動設定ができる。この機能により，Windows の最新機能を利用しつつ設定の煩雑さを解消できる。

(2) ウィルス対策ソフトウェア

ウィルス対策として OfficeScan〈注 4〉などの汎用製品が検証済みである。

汎用技術の利用により，常に最新の対抗手段が利用できる。

(3) SCALANCE S シリーズ

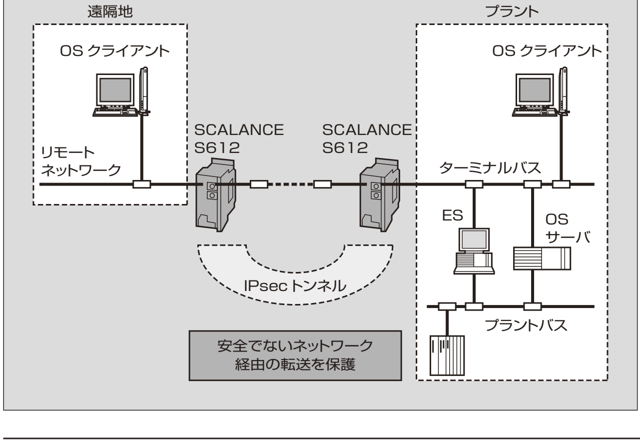
「SCALANCE」シリーズは，ギガビット Ethernet に対応したシリーズや無線 LAN に対応したシリーズなどからなる MICREX-NX の制御用ネットワーク製品群の総称である。その中で S シリーズは，セキュリティ機能を強化し，**図 7** に示すように汎用回線利用による遠隔拠点間の安全なデータ連携（VPN）が行え，ファイアウォール機能も内蔵している。

〈注 2〉Visual Basic, Access, Excel：米国 Microsoft Corp. の登録商標

〈注 3〉Windows，DCOM：米国 Microsoft Corp. の登録商標

〈注 4〉OfficeScan：Trend Micro Incorporated の登録商標

図 7　SCALANCE S によるプラントセキュリティ



9 エンジニアリング機能

MICREX-NX のエンジニアリング機能では旧バージョンとの互換性を保ちつつ，多くの新機能を追加した。その代表的な新機能を以下に述べる。

9.1 アラームフィルタ

アラーム抑制時間の設定により発生アラームのフィルタリングができる。

図 8 に示すように，プロセスオブジェクトビューのアラームグループから設定を行い，プラントの稼動状態（立上げ・立下げ）によるアラームフィルタ設定機能を提供する。

これにより，異常発生時に同時に多発するアラームの内容に応じた表示最適化が可能である。

9.2 アプリケーションソフトウェアのバージョン管理

オプションソフトウェアであるバージョン管理ソフトウェア「VXM」により詳細なコンペア機能を提供する。本機能により，変更前のプロジェクトと変更後のプロジェクトの変更内容を容易に確認できる。また，ログオンサービスを利用して，アプリケーションの変更やダウンロード

図 8　アラームフィルタ設定

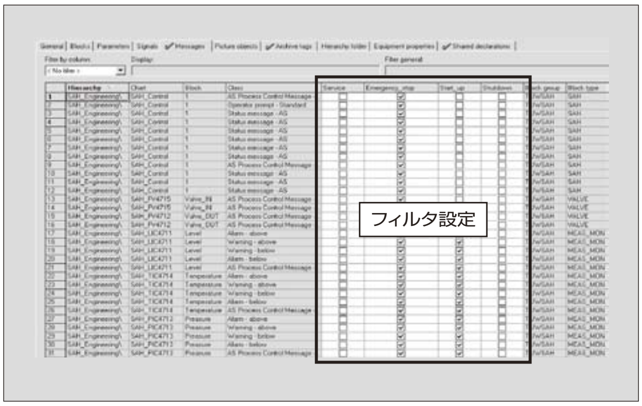


図 9　マルチユーザーエンジニアリングシステム構成

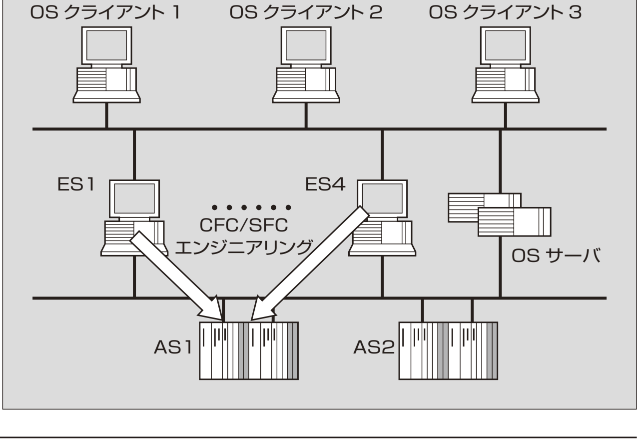
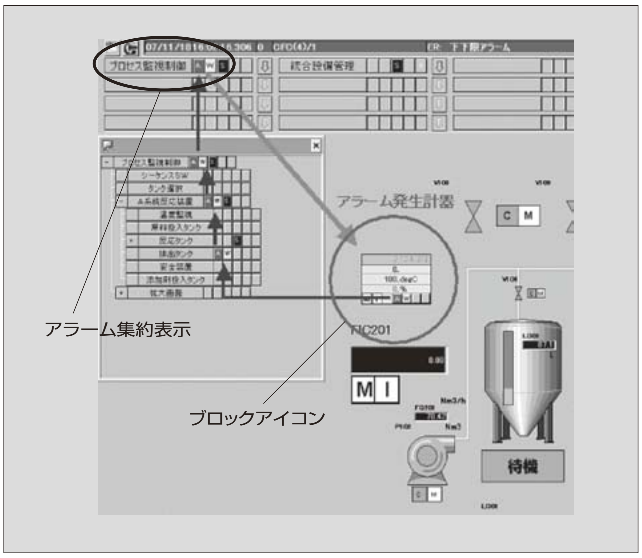


図 10　ブロックアイコン強調表示



時にユーザーログインパスワードと変更理由を入力することにより，プロジェクトのトレーサビリティ向上を実現する。

9.3　マルチユーザーエンジニアリング

コントローラのアプリケーションソフトウェアを複数のエンジニアがネットワークを介して共有し，制作やデバッグができる。

9.4　ランタイムグループの最適化

コントローラのイニシャル処理における実行シーケンスのグループ（ランタイムグループ）を，自動的に最適な構成にグルーピングできる。これにより，従来のエンジニアによる手作業のグルーピングと比較して，エンジニアリング効率が向上する。

10　オペレーション機能

MICREX-NX の持つ機能的に統一されたオペレーション機能に加え，新たなユーザーニーズに立脚した多くの新機能を追加した。その代表的な新機能を以下に述べる。

10.1　ブロックアイコン強調表示

図10に示すように，アラーム集約表示からの画面リンク機能によりアラームに対応したブロックアイコンを強調表示し，アラーム発生箇所を瞬時に特定できる。これにより従来からの階層化構造による充実した表示機能と効率的なプラント制御へのナビゲーション機能に加え，アラーム発生に対する的確なユーザーガイダンスを提供する。

図 11　エクスポートしたトレンドデータ（CSV 形式）

	A	B	C	D
1	Trend Name	Number of Curves	DateFrom	DateTo
2	Trend Group1	2	2007/12/4 10:01	2007/12/4 10:02
3	Pen Number	Pen Name	Minimum	Maximum
4	0	Trend 1	-99.982521	99.936241
5	1	Trend 2	2.16	50.960003
6	Pen Number	Date	Value	
7	0	2007/12/4 10:01	79.857292	
8	0	2007/12/4 10:01	66.305634	
9	0	2007/12/4 10:01	50.11047	
10	0	2007/12/4 10:01	31.917501	
68	1	2007/12/4 10:01	2.96	
69	1	2007/12/4 10:01	3.76	
70	1	2007/12/4 10:01	4.56	
71	1	2007/12/4 10:01	5.360001	

10.2　トレンドデータエクスポート

オペレーション中のトレンド画面からデータを直接エクスポートすることができる。**図11**に示すように，エクスポートしたデータ（CSV 形式）を EXCEL などのアプリケーションで利用することにより，オペレーターが操業中に見ているトレンドグラフデータをプロセス分析や報告書の作成に活用できる。

10.3　トレンドグラフのオートスケール

トレンドグラフの主な拡張機能を以下に示す。

(a)　表示スケーリング（オートスケール）機能の拡張
(b)　マウス選択によるトレンド表示順序変更
(c)　オンライン/アーカイブデータの混在表示

表示スケーリング（オートスケール）機能の拡張については，従来からの固定レンジ/オートレンジ機能に加え，コントローラプログラムから表示スケール値の参照およびタグデータの引用ができる。これによりさまざまな表示方法への対応およびエンジニアリング効率化を提供する。

11　あとがき

「MICREX-NX」は，これらの新機能追加，性能改善により，さらにユーザーニーズに立脚したソリューションを提供できるものと考える。

今後も，顧客満足を実現できるシステムを，継続的に開発し，提供していく所存である。

参考文献

(1)　酒井敏．新情報制御システム「MICREX-NX」．富士時報．vol.77, no.6, 2004, p.404-408.

PID 最適調整技術

特集

松本　宏治（まつもと　こうじ）　大井　章弘（おおい　あきひろ）　中沢　親志（なかざわ　ちかし）

1　まえがき

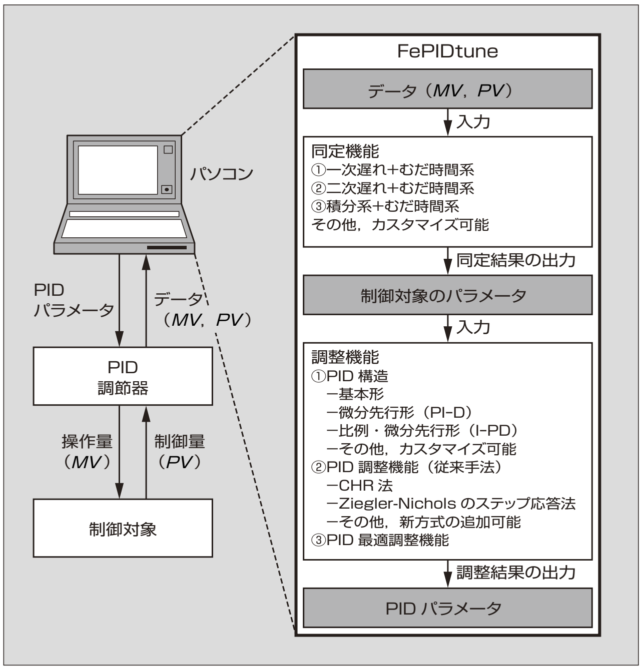
プラント制御における制御ループの 90％ 以上が PID 調節器といわれており，この調節器の制御性能が，設備の性能に大きく影響する。また，工場全体の運用の最適化や，安定化といった視点から全体最適化やモデル予測制御などを上位に置き，その下位ループとして PID 調節器が用いられることも少なくないが，その場合にも制御ループ一つ一つが確実に制御されていることが重要である[1,2]。PID 調節器が望みどおりの制御性能を得るためには，パラメータ調整が不可欠である。これまで提案されている調整法[2,3]のほとんどが制御対象のゲイン，むだ時間，時定数を基に設定する方法である。これらのパラメータを求めること（以下，同定という）は非常に重要であるが，一方で精度よく求めることが難しい作業ともなっている。さらに，現在，現場で使われている PID 調節器の構造は，従来の調整法が適用された PID 調節器の構造とは異なっている。そのため，従来の調整法をそのまま使うことはできない。したがって従来の調節器や調整法で培ってきた運転員や調整員の経験，ノウハウによって現場での調整が行われているため，省エネルギー，品質，効率の観点から改善の余地がある。このような背景の下，最新の最適化技術である PSO（Particle Swarm Optimization）を応用し，運転員や調整員のスキルに依存せずに調整する PID 調整ソフトウェア「FePIDtune」を開発した。FePIDtune は，ユーザーが指定した行過ぎ量，立上り時間などの波形仕様（望みの波形）から PID 調整を行う PID 最適調整機能に加え，従来の調整法による PID 調整機能，同定機能などを有している。

本稿では，開発した FePIDtune の概要と機能について紹介する。

2　PID 調整ソフトウェア「FePIDtune」の概要

図 1 に FePIDtune の構成を示す。PID 調節器の入出力である制御量（*PV*），操作量（*MV*）をデータとしてパソコンに取り込む。取り込んだデータ（*MV*，*PV*）を同定機能に入力し，あらかじめ決めておいた制御対象の構造に対し同定を行い，ゲイン，むだ時間，時定数などの制御対象のパラメータを出力する。

図 1　FePIDtune の構成



次に調整機能にて，得られた制御対象のパラメータと選択した PID 構造によりシミュレーションを行い，PID 調整を行う。以下に，FePIDtune の特徴を述べる。

(a)　運転員や調整員のスキルに依存していた調整を自動化

(b)　起動時データ，操業データ（可同定性の条件を満たす必要があるもの）から同定が可能

(c)　最適化技術である PSO により，望みの波形を実現する最適調整を実現

3　同定機能

制御対象の同定は，操作量（*MV*）と制御量（*PV*）デー

松本　宏治

産業プラント制御システムの企画・設計業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社電機プラント本部システム製作所技術センター課長補佐。

大井　章弘

数理アルゴリズムを利用した顧客ソリューション研究開発業務に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社情報通信制御開発センター。人工知能学会会員。

中沢　親志

数理アルゴリズムを利用した顧客ソリューション研究開発業務に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社情報通信制御開発センター。電気学会会員。

表 1　制御対象の構造の例

伝達特性	ラプラス変換形 P（s）
一次遅れ系＋むだ時間	$\frac{G}{1+Ts}e^{-Ls}$
二次遅れ系＋むだ時間	$\frac{G}{(1+T_1s)(1+T_2s)}e^{-Ls}$
積分系＋むだ時間	$\frac{1}{T_\mathrm{I}s}e^{-Ls}$

制御対象のゲイン G，時定数 T，T_1，T_2，積分時間 T_I，むだ時間 L

タから，あらかじめユーザーが決めておいた制御対象の構造に対して行う。ここで制御対象の構造は，一般的に使用されるものを用意しており，また，必要に応じてカスタマイズも可能である。

表 1 に制御対象の構造の例を示す。

同定機能の評価関数 J は予測誤差の 2 乗の積分として次のように表される。

$$J = \int_0^T (\widehat{PV}(\rho) - PV)^2 dt \quad \cdots\cdots (1)$$

ρ ：同定する制御対象のパラメータ
T ：評価区間
^ ：推定値

同定機能は，式(1)が最小となる制御対象のパラメータ ρ を求め，波形の一致の程度を数値化した適合率[(4)]を表示する。最小値の解法にはニュートン・ラフソン法[(5)]を適用している。

$$\hat{\rho}^{(i+1)} = \hat{\rho}^{(i)} - \mu\,[J''(\hat{\rho}^{(i)})]^{-1} J'(\hat{\rho}^{(i)}) \quad \cdots\cdots (2)$$

i ：イタレーション番号
μ ：ステップ長
J' ：J（ρ）の ρ に関する 1 階微分（こう配）
J'' ：ヘッセ行列

実際の同定に際しては，操作端の動作遅れなど，制御対象の一部のパラメータが既知であることも多い。そうした場合には，当該パラメータ値をあらかじめ指定し，それ以外のパラメータのみを同定することも可能である。

図 2 に同定機能の画面例を示す。

4　調整機能

PID 調整は従来手法を選択できる PID 調整機能とユーザーが指定する波形を実現する PID 最適調整機能とからなる。

4.1　PID 構造[(6)]

Ziegler-Nichols のステップ応答法，CHR 法などの従来の調整法[(2), (3)]は，**図 3**(a)の基本形の PID 調節器に対する調整方法である。しかし，現在現場で使われている PID 調節器の構造は，その多くが基本形とは異なっているため，従来の調整法をそのまま使うことはできない。そこで，現場でよく使われる PID 構造に対応できるように，**図 3**(b)の微

図 2　同定機能の画面例

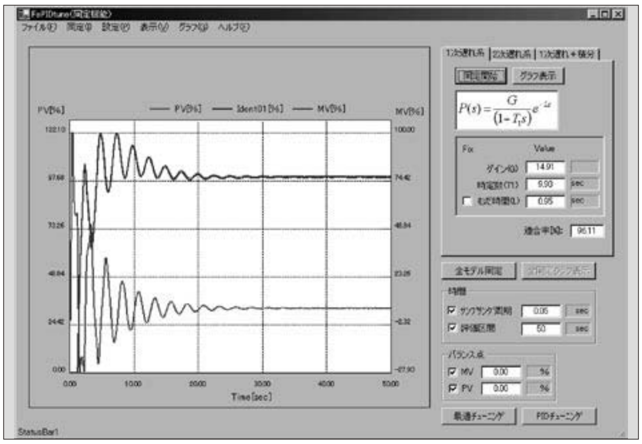
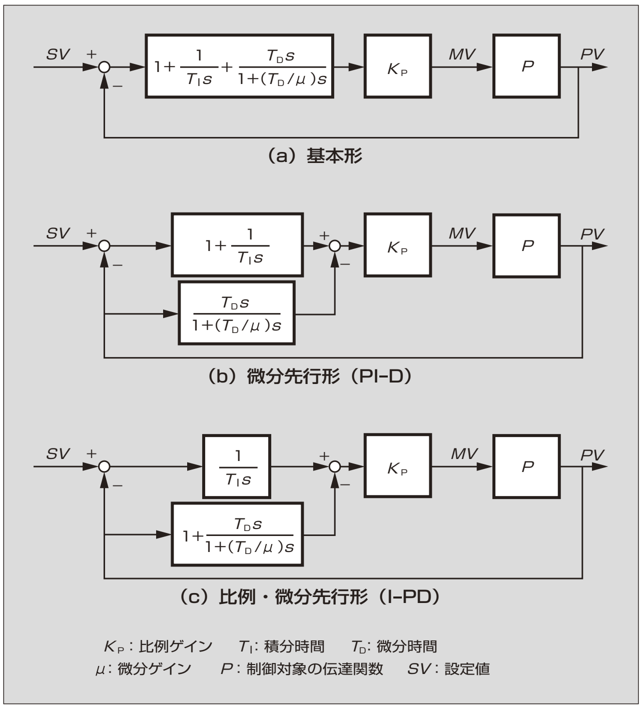


図 3　PID 調節器の構造



分先行形（PI-D）PID 調節器，**図 3**(c)の比例・微分先行形（I-PD）PID 調節器の構造に対しても調整できるようにした。

また，実際のコントローラに組み込まれる調節器で考慮される各種の制限（操作量上下限，操作量変化率上下限など）も与えることができる。

4.2　PID 調整機能（従来手法）

PID 調整は，制御対象のパラメータの関数として与えられる公式が多数提案されている。FePIDtune は，次の調整法を持っている。

○ Ziegler-Nichols のステップ応答法による調整[(6)]
○ CHR 法[(6)]
○ Cohen-Coon の調整則[(7)]
○ベトラーク法
○ジンメトリッシェ法

特集

4.3　PID 最適調整機能

CHR 法などの従来手法は，制御対象のパラメータに基づいた公式により，PID 調整される。従来法を用いて，望みの波形を得ようとした場合，**図 4** に示すように，モデルまたは実機を用いて，PID パラメータをいったん決め，シミュレーションまたは試験を実施することで波形評価を行うという試行錯誤を繰り返す必要があり，調整工数の削減，調整スキルによる制御性能のばらつきの観点から問題がある。

そこで，最適化技術を用いて，望みの波形から PID 調整を行う PID 最適調整機能を開発した。PID 最適調整機能の評価関数および制約条件は設定値（*SV*）のステップ応答波形に対して式(3)，式(4)のように与える。

評価関数[6]

$$F=\int e(t)^2 dt \quad \cdots\cdots (3)$$

$$e(t)=PV-SV \quad \cdots\cdots (4)$$

制約条件[8]

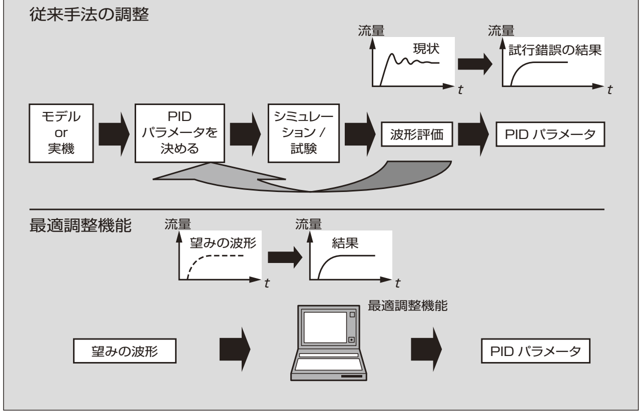
$$\left.\begin{array}{l} T_r^L \leq T_r \leq T_r^U,\ T_d^L \leq T_d \leq T_d^U \\ P_0^L \leq P_0 \leq P_0^U,\ T_p^L \leq T_p \leq T_p^U \\ T_s^L \leq T_s \leq T_s^U,\ E_s^L \leq E_s \leq E_s^U \end{array}\right\} \quad \cdots\cdots (5)$$

$e(t)$：偏差
T_r：立上り時間
T_d：遅延時間
p_0：行過ぎ量
T_p：行過ぎ時間
T_s：整定時間
E_s：定常偏差
U：上限
L：下限

PID 最適調整機能は，(5)の制約条件の下で式(3)が最小となる PID パラメータ K_P，T_I，T_D を求める。最小値の解法には，次の PSO[9] を用いている。

$$\begin{aligned} v_{ij}^{(k+1)} &= w \cdot v_{ij}^{(k)} \\ &+ c_1 \cdot rand \cdot (pbest_{ij} - x_{ij}^{(k)}) \\ &+ c_2 \cdot rand \cdot (gbest_j - x_{ij}^{(k)}) \end{aligned} \quad \cdots\cdots (6)$$

図 4　最適調整機能の考え方



$$x_{ij}^{(k+1)} = x_{ij}^{(k)} + v_{ij}^{(k+1)} \quad \cdots\cdots (7)$$

x：PID パラメータの探索空間
$x_{ij}^{(k)}$：イタレーション k 番目における i 番目パーティクルの j 次元成分
$v_{ij}^{(k)}$：移動ベクトル
$pbest_{ij}$：i 番目パーティクルの最良解
$gbest_j$：パーティクルがこれまでの探索で発見した最良解
w，c_1，c_2：それぞれの項に対する重みパラメータ
$rand$：0 から 1 の間に分布する一様乱数

なお，最小値の計算に際しては，**4.1** 項で述べたような調節器の各種の制限（操作量上下限，操作量変化率上下限など）についても，制約条件として与えることができる。

図 5 に最適調整機能の画面例を示す。

5　シミュレーション例

最後に FePIDtune を用いて調整した適用例を紹介する。制御対象は，**図 6** に示すように，一次遅れ＋むだ時間の構造を持ったものである。

この制御対象に対して，FePIDtune を用いてパラメータの同定，および調整を行った。この調整によるステップ応答を**図 7** に示す。ここで，本図の左側のチャートは，CHR 法（設定値変更時の行過ぎ量 20%）による結果であり，右側のチャートは，最適調整機能による結果である。ここで最適調整に際しては，ユーザーの望みの波形仕様として，以下に示す指針を与えたものである。

(1)　整定時間は CHR 法と同程度とする。
(2)　行過ぎ量をなくす（0% にする）。

図 5　最適調整機能の画面例

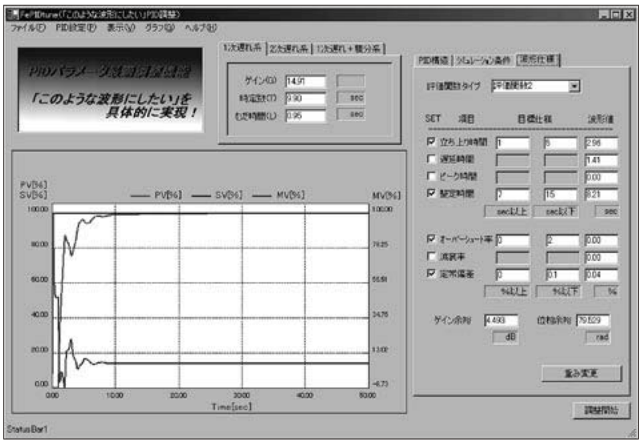


図 6　制御対象

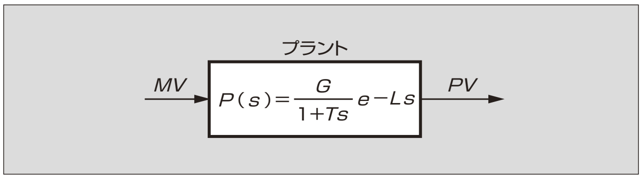
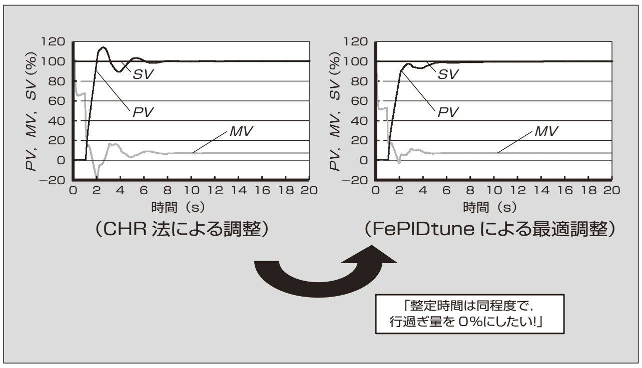


図 7　FePIDtune による最適調整



(3)　それ以外の指針（立上り時間，定常偏差など）は，許容される制約内とする。

この指針の下に得られた最適調整結果は，**図 7** で示すように，先の調整指針をおおむね満たす結果（ユーザーにとって最適な波形）となっている。なお，ここでは CHR 法による調整結果をベースに最適調整の指針を与えたが，もちろん，始めからユーザーの調整指針を与えて，最適調整値を求めることも可能である。

6　あとがき

開発した PID 調整ソフト「FePIDtune」の概要と各機能，ならびに適用例について紹介した。

今後は，制御対象の同定を必要としない（同定レス）PID 調整機能や，調整結果の周波数領域での評価手法との連携などの機能拡張を行い，さらに各種のコントローラや温度調節計などの支援ツールへの組込みを行っていく所存である。

特集

参考文献

(1)　Carl Knospe. PID Control. IEEE Control Magazine. 2006-2. p.30-31.

(2)　荒木光彦．PID 調節計のパラメータ調整則の発展．システム/制御/情報．vol.50, no.12, 2006, p.441-446.

(3)　荒木光彦など．むだ時間システムに対する PID/I-PD 制御および離散型最適制御．システムと制御．vol.28, no.5, 1984, p.278-289.

(4)　足立修一．制御のための上級システム同定．東京電機大学出版局．2004.

(5)　足立修一．制御のためのシステム同定．東京電機大学出版局．2005.

(6)　山本重彦，加藤尚武．PID 制御の基礎と応用．朝倉書店．2005.

(7)　須田信英．PID 制御．システム制御情報ライブラリー 6．朝倉書店．1992.

(8)　明石一，今井弘之．詳解 制御工学演習．共立出版株式会社．1983．

(9)　相吉英太郎，安田恵一郎 編著．メタヒューリスティクスと応用．電気学会．2007, p.69.

エネルギープラントの最適運用システム

小出　哲也（こいで　てつや）　　松本　宏治（まつもと　こうじ）　　北川　慎治（きたがわ　しんじ）

1　まえがき

鉄鋼業は，好調な内外需要を背景に製造業向け生産が増加基調を続けている。一方，鉄鋼業はわが国の最終エネルギー消費の約 11% を占める産業であるため，エネルギー使用効率の向上にはかねてから積極的な取組みを行ってきている。第一次石油危機以降約 20% の省エネルギーを実現したが，さらに近年の地球規模での温暖化防止対策の重要性を強く認識し，省エネルギー対策の一層の取組みに努めている。その取組みの一つに生産工程における省エネルギーがあり，2010 年度のエネルギー消費量を 1990 年度に対し，10% の削減を目標としている[(1)]。

富士電機は，いち早く製鉄所エネルギー管理の有用性に着目し，エネルギー管理システムの代名詞ともなった“エネルギーセンター”を納入し続けている。製鉄所のエネルギー需給構造は多種多様であり，かつ相互に複雑な関係を持っている。エネルギーセンターが，エネルギーを安定的に供給するとともに，時々刻々と変化するエネルギー需給バランスに迅速に対応するためには，プロセスコンピュータによるリアルタイムなエネルギー需給予測機能と最適配分機能が必要不可欠である。

本稿では，このような背景を踏まえ，このたび，JFE スチール株式会社の協力を得て，エネルギー最適運用システムパッケージ「FeTOP[(2)]」の製鉄所内エネルギープラントへの適用を図り，シミュレーションによる最適運用の効果検証を実施したので紹介する。

2　エネルギープラントの最適運用

エネルギープラントは，工場，事務所，病院，大型ビルなどの設備において，電気，熱，蒸気などのさまざまなエネルギーを供給している。エネルギーを供給する機器は，発電機，ボイラ，熱源機器などさまざまである。各設備で必要とされるエネルギー需要に対して，電力，ガスなどの外部からの購入エネルギーも含めて各機器に適切に配分し，供給することが要求される。

図 1　エネルギープラント最適運用を実現する機能

特に製鉄所内のエネルギープラントでは，生産設備から発生する副生ガス・熱をそれらのエネルギーの用途に合った形態に変換することで有効活用し，省エネルギーを実現している。エネルギー変換は，需要と供給のバランスを見極めながら実施する必要があり，適正な組合せと配分，つまり最適運用を行うことにより，外部からの購入コストの削減や環境負荷の低減を図ることが可能である。しかしながら，ボイラなどの機器では外部からの購入燃料に加え数種の副生ガスも燃料として同時に使用し，その配分にはさまざまな制約条件があるなど，他の業種のエネルギープラントに比べて製鉄所内エネルギープラントでは，より複雑で多数の制約条件を考慮しながら運用する必要がある。

また，エネルギーの需要・供給は常に変動し，副生ガスを貯えるホルダ設備などがあることから，ある一定期間の需給変動に対してどのような運用が最適なのかを決定する必要がある。したがって，**図 1** に示すように，エネルギープラントの最適運用は，需給予測機能，最適運用決定機能，プラントシミュレータを活用して実現している[(3)]。つまり，まず需給予測機能において副生ガス発生量などさまざまなエネルギーの需要と供給の変動予測を行う。次に最適運用決定機能においてプラントシミュレータを利用しながら，多種多様な制約条件を考慮し，予測されたエネルギー需給を満たす最適な運用を決定する。

3　エネルギー最適運用システムパッケージ「FeTOP」

FeTOP における主要機能の概要と要素技術について述

小出　哲也

鉄鋼分野の計測制御システムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社電機プラント本部第一統括部計測・制御技術部担当課長。

松本　宏治

産業プラント制御システムの企画・設計業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社電機プラント本部システム製作所技術センター課長補佐。

北川　慎治

数理応用ソリューション研究開発業務に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社情報通信制御開発センター情報・制御システム部主任。電気学会会員，計測自動制御学会会員。

べる。

3.1　予測機能

電気や熱などのエネルギー需要，および副生ガスなどの発生量は，工場の操業状態や気象条件などの多様な条件に影響される場合や，周期的に同じような傾向を示す場合など，さまざまな特性を有している。これらの特性を模擬するためには，主に次のモデルを用いる方法がある。

(a)　エネルギー消費設備の物理的特性式などを用いた物理モデル

(b)　過去に蓄積した実績データなどを用いた統計モデル

(c)　物理モデルと統計モデルを組み合わせたハイブリッドモデル

これらのモデルは，線形式で記述できる場合もあれば，非線形式による記述が必要な場合もあり，精度よく予測するためにはさまざまな予測方法を考慮する必要がある。

FeTOP では，さまざまな対象に対する予測機能を実現するため，パターン予測方式，重回帰方式，ニューラルネットワーク方式など複数の予測方法が利用可能である。

(a)　パターン予測方式は，過去の実績データから現在の状況にもっとも類似しているものを検索して予測値とする方法である。

(b)　重回帰方式は，気温・湿度などの説明変数と，予測対象である電力需要などの目的変数との関係を線形式で近似し利用する方法である。

(c)　ニューラルネットワーク方式は，過去の実績を学習して非線形予測モデルを構築し，現在の状況に最も合う結果を出力する方式である。

この中でも，富士電機が独自に開発した構造化ニューラルネットワーク[(4)]は，従来のニューラルネットワークでは内部がブラックボックスであるため困難であった出力理由の説明を可能としている。**図 2** に示すように，ネットワーク内部を入力因子ごとに構造化することで出力理由の説明を可能としており，さらに学習過程で不要な素子や結合を削除するため構造を最適化することができる。

3.2　プラントシミュレータ

プラントシミュレータは，各機器を物理モデルに基づく線形または非線形の特性式でモデル化する場合や，応答局面法やニューラルネットワークなどの方法でモデル化する場合など，複数の方法でプラントの特性のモデル化に対応している。また，台数制御などのローカル制御やプラント固有の運用ルールなどの論理式などさまざまな表現方法でプラントの特性をモデル化することが可能となっている。さらに，最適運用を探索する際に必要となる各種制約条件や目的関数のモデル化に対応している。

プラントモデルの作成は，画面上でグラフィカルに行うことができる。ボイラやタービンなど，多くの機器については標準的なモデルが開発済みであり，テンプレートとして用意されている。それらのテンプレートを画面上に配置して接続することにより，プラント全体のモデルを作成する。モデルの特性や制約条件などのパラメータも画面上で設定可能である。さらに，画面上でモデル内の変数端子などを接続することにより目的関数をモデル化して最適化することが可能となっている。**図 3** にプラントモデル作成例のイメージを示す。

また，本シミュレータはオンラインの最適運用システムで利用される場合に加え，最適運用システムのエンジニア

図 2　構造化ニューラルネットワークの概要

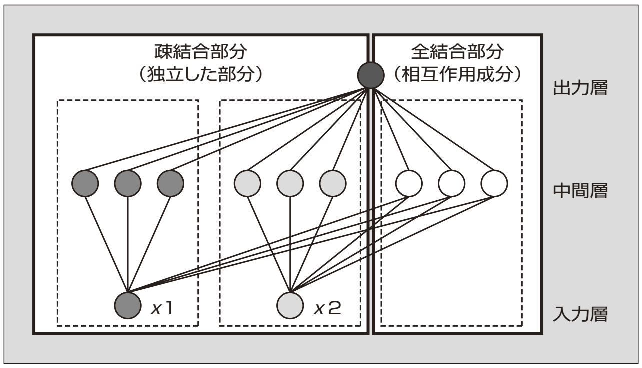
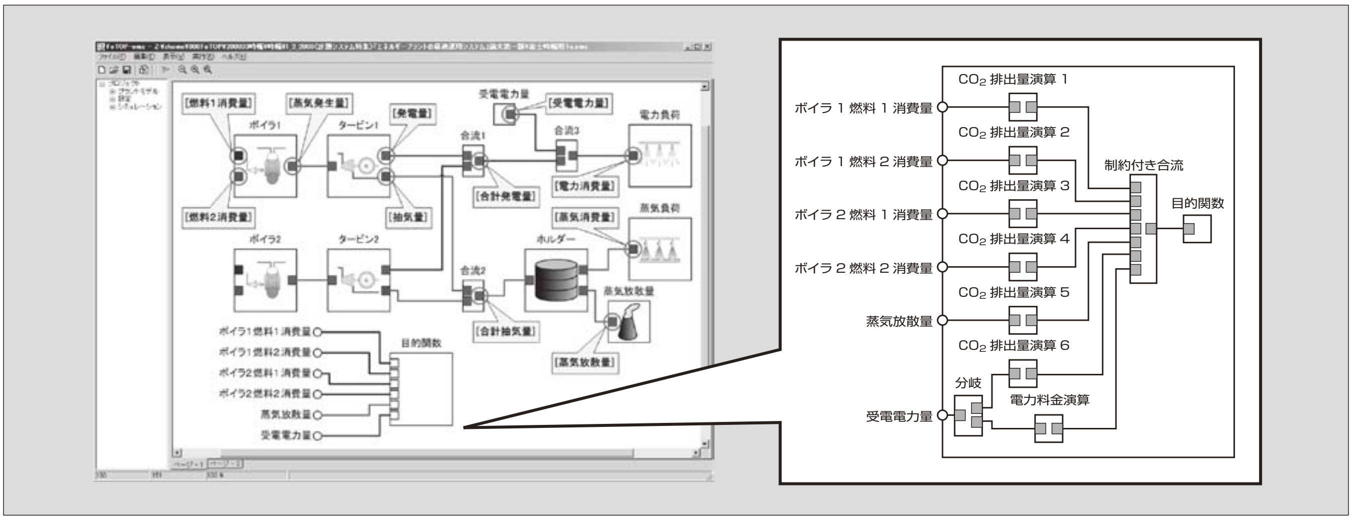


図 3　プラントシミュレータでのプラントモデル作成例



特集

リングや，設備選定などのプラント設計検討などのためのオフラインシミュレーションにも利用可能としている。このために，プラント上のどの変数を独立変数として入力して，どの変数を従属変数（モデル式の計算により求められる変数）とするのか，また最適化によって決定する状態変数をどの変数とするのか，ユーザーが任意に設定可能であり，一度設定した後も画面上で容易に変更可能としている。これは，これら変数種別の設定情報と機器モデルの接続情報をもとに，シミュレータ内部でモデル計算アルゴリズムを自動的に構築することにより実現している。

3.3　オフラインシミュレーション機能

FeTOP の最適運用決定機能は，上述のプラントシミュレータを利用して実現している。したがって，制約条件や目的関数の構成は，プラントシミュレータの画面上で簡単に作成することができ，プラント上のどの変数を状態変数にするかの指定も簡単に実施することができる。これにより，オンライン最適化のみならず，オフラインの最適化シミュレータとしてさまざまなシナリオに対する最適化計算や，最適化を行わずユーザーが設定した運用状態でのシミュレーションを実施することも可能である。

例えば，コスト最小化を目的とした場合と CO_2 排出量最小化を目的とした場合の最適運用解の比較や，ある運用状態を仮定した場合の副生ガス必要発生量の推定など，さまざまな検討のためのシミュレーションを実施することができる。

さらに，複数ケースの入力条件と計算結果をまとめて保存し再利用することができるため，運転計画の事前評価や過去の運転実績の検証による改善策の検討，エネルギープラント最適運転計画の立案とその効果の検証，さらには設備選定などのプラント設計検討などを行うことができる。

3.4　最適運用決定機能

エネルギープラント最適運用を実現するためには，発電機などの機器の起動・停止（離散量）や発電出力（連続量）などを同時に決定する必要がある。従来，機器特性や運用条件を線形関数で近似した混合整数計画問題として定式化し解かれていた[5]。しかし，実プラントへの適用時には，機器の非線形特性に加え，台数制御などの制御ロジックや設備運用条件などの論理式を考慮する必要がある。これらをそのままの形で取り扱うためには，非線形な混合整数計画問題として定式化し解く必要がある。従来は非線形混合整数計画問題に対する有効な手法が存在しなかったが，近年ではメタヒューリスティクスと呼ばれる手法を用いて解くことができる。FeTOP は，その一つである PSO（Particle Swarm Optimization[6]）を適用した最適化機能を実装している。

PSO は，動物などの群れの動きを模倣した多点探索の最適化手法である。**図 4** に示すように，探索領域に複数の探索点を配置し，評価のよい点の情報を共有し，その情報に基づいて探索点の移動を繰り返すことによって最適解を求める。近年，さまざまな改良手法[7],[8]が提案されており，FeTOP においても複数の改良手法が利用可能である。

富士電機では，機械部品生産工場のエネルギープラントに対して PSO を適用した最適運用システムを納入し，省エネルギー，および CO_2 排出量の削減に貢献した実績[3]がある。しかしながら，一般的に製鉄所内のエネルギープラントにおいては，各副生ガスの使用量などを状態変数とするため，状態変数間の相互干渉が強く，その配分関係にも多数の制約条件があるなど，最適化問題として解くことがより難しくなっている。これに対して FeTOP では，PSO の探索アルゴリズムが簡易であり，探索中に独自の改良を追加することが容易であるという特徴を利用して，対象プラント固有の改良を加えることが可能な構成としている。

例えば，製鉄所内のエネルギープラントの最適運用では上述したように膨大な数の制約条件式を考慮する必要があり，通常はこれらの制約をペナルティ関数法によって考慮することになる。つまり，各制約に対する逸脱量の加重和をペナルティ項として目的関数に加えることにより制約を満たす解を得ようとするものである。しかし，ペナルティ項の追加は，探索の効率を著しく低下させる現象を発生させる場合がある。そこで，探索中に追加する独自処理の中で，特定の制約逸脱を解消するような解の改良処理を追加可能な構成としている。例えば，ホルダ容量が上限になっ

図 4　PSO の探索の概念

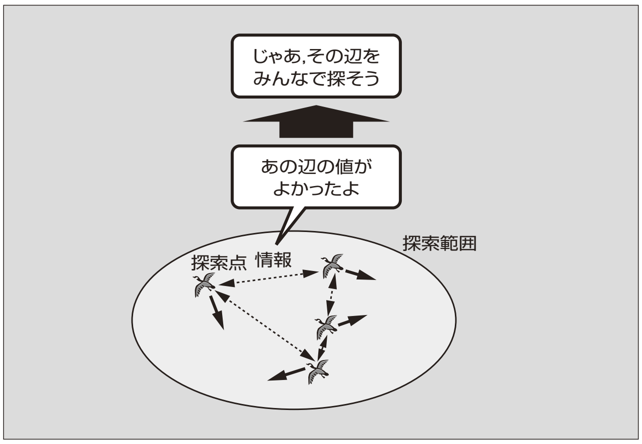


図 5　モデルとした製鉄所内エネルギープラント

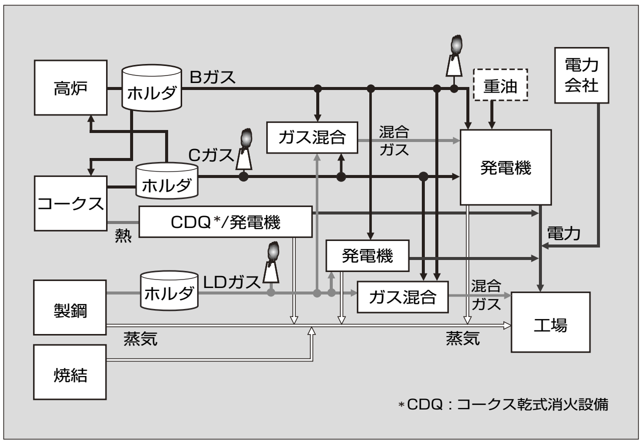


図 6　最適運用によるエネルギー消費量削減効果の一例

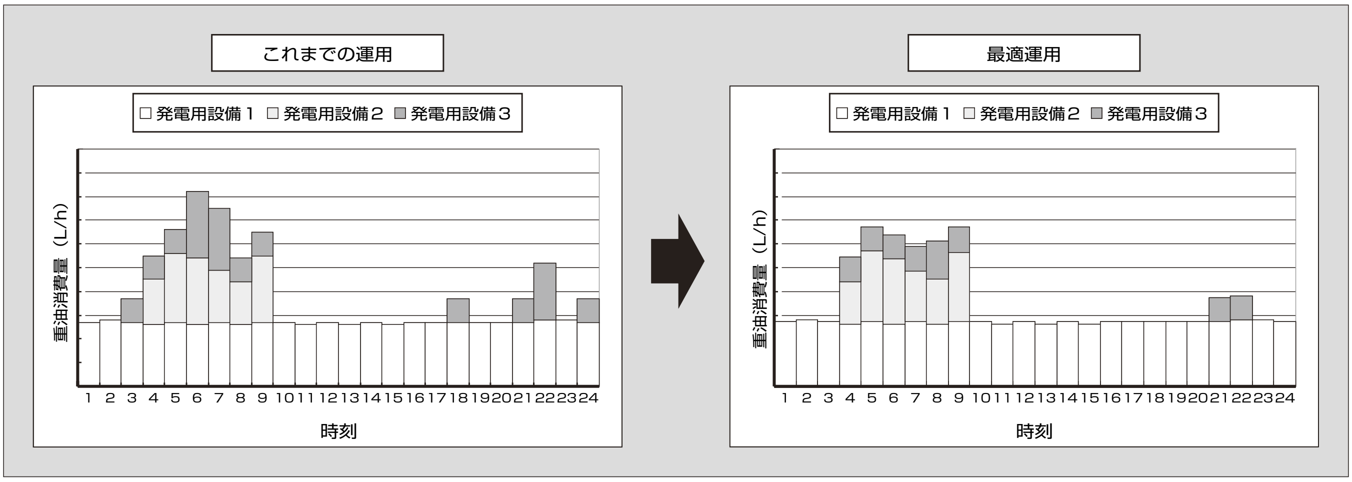
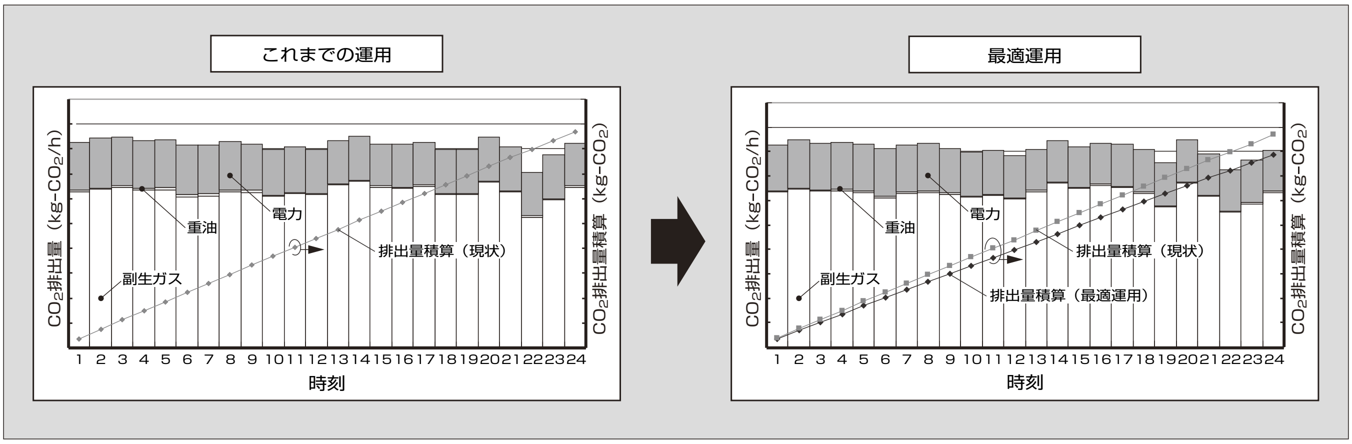


図 7　最適運用による CO_2 排出量削減効果の一例



てガスを放散するにもかかわらず，ガスを購入するという矛盾した運用解を修正するような改良処理を実装することにより，解の探索効率を向上させることが可能となっている。さらに，ペナルティ項を追加する場合には，通常その重み係数の調整が必要であるが，その値を探索中の目的関数値などに応じて自動的に変更することができる機能も追加している。これらの改良により，探索の効率化を実現している。

4　適用事例

製鉄所内エネルギープラントをモデルとしたオフラインシミュレーションを実施した事例を紹介する。

製鉄・製鋼プラントからのガスや熱というエネルギー源などの供給と，製造過程や下流工程に必要なエネルギー（電力・ガス・蒸気）需要に対するエネルギー配分を，重油購入コストなどの運用コストの最小化，ならびに CO_2 排出量の最小化を目的とした最適化の評価を実施した。評価は，**図 5** に示すモデルプラントにおいて，非定常操業時におけるエネルギーの需要と供給の実績データを用いて，プラント運用を最適化シミュレーションによって最適化した場合の評価値と，実運用状態をもとに算出した評価値を比較することにより実施した。幾つかの非定常操業状態を模擬した数ケースのシミュレーション結果から，最適化により運用コストについては平均で約 1 ～ 3% の削減効果を，CO_2 排出量については年間で約 7.2 万 t-CO_2 の削減効果が得られることを確認した。**図 6** に運用コスト最小化による効果の一例として重油消費量の削減効果を，また，**図 7** に CO_2 排出量最小化による CO_2 排出量の削減効果を示す。

5　あとがき

鉄鋼業に代表されるエネルギープラントの最適運用システムについて，その検証成果を述べた。

この成果を生かし，ユーザーニーズに応えるべくさらに発展させることで，効率的かつ最適なエネルギー運用を実現するとともに，世界規模での温暖化抑制対策の一助となるべく，努めていく所存である。

最後に，製鉄所内エネルギープラントへの最適運用の効果検証の実施にあたり，多大なご協力・ご助言をいただいたJFE スチール株式会社殿に深く感謝する次第である。

参考文献

(1) 社団法人日本鉄鋼連盟．
http://www.jisf.or.jp/business/ondanka/sinchoku/index.html（参照 2007-11-30）
(2) 菊池健ほか．最適化エネルギーマネジメントシステム FeTOP の開発．計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会．2003, 2A4-7.
(3) 項東輝ほか．原動力設備プラントの最適運用と適用事例．富士時報．vol.77, no.2, 2004, p.166-170.
(4) 飯坂達也ほか．構造化ニューラルネットワークの新しい学習法と最大電力需要予測への適用．電気学会論文誌 B．vol.124, no.3, 2004, p.347-354.
(5) 伊藤弘一，横山良平．コージェネレーションの最適計画．産業図書．1990.
(6) Kennedy, J. et al. Particle Swarm Optimization. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks. vol.**IV**, 1995, p.1942-1948.
(7) 福山良和．メタヒューリスティク手法の電力・エネルギー分野への適用例．電気学会論文誌 B．vol.124, no.5, 2004, p.679-682.
(8) 相吉英太郎．安田恵一郎 編．メタヒューリスティクスとその応用．オーム社．2007.

解　説　SIL と PFD

IEC 61508（JIS C 0508）では，機能安全を構成する機器やシステムの安全度を示す尺度として，SIL（Safety Integrity Level）が定義されている。SIL は“安全度水準”と呼ばれ，4 段階〔SIL1（低）～ SIL4（高）〕のレベルがあるが，SIL4 が適用されることはほとんどない。このレベルは，PFD（Probability of Failure on Demand：低頻度作動要求あたりの機能失敗平均確率）によって表される。PFD は，複数のパラメータ（機器の検出できない危険側故障の割合，テスト間隔，共通要因故障など）から計算式で求められる。表に SIL と PFD の関係を例として示す。例えば，SIL2 を満たす機器やシステムを実現するためには，10^{-2} >PFD ≧ 10^{-3} を満足する必要があることが分かる。この意味は，危険側故障の頻度が，100 年に 1 回以下あることである。逆に，機器やシステムの PFD が 10^{-3}>PFD ≧ 10^{-4}（危険側故障の頻度が，1,000 年に 1 回以下）であることが示せれば，その安全度水準は SIL3 となる。ただし，機器については，第三者認証機関から SIL の認定を受けておく必要がある。

表　SILとPFDの関係

安全度水準（SIL）	作動要求時あたりの機能失敗平均確率（PFD）
4	10^{-5}以上10^{-4}未満
3	10^{-4}以上10^{-3}未満
2	10^{-3}以上10^{-2}未満
1	10^{-2}以上10^{-1}未満

鉄鋼分野向け計算機システムにおける新フレームワークの適用

吉川　　肇（よしかわ　はじめ）

1 まえがき

鉄鋼分野の計算機システム（プロセスコンピュータ）は数十年の歴史があり，当初は最重要の設備だけに導入されていたが，技術の進歩に従い現在ではほとんどの設備に導入されるようになり，安定操業・品質向上に貢献している。

この鉄鋼分野に導入されている計算機システムも近年のネットワークの急速な普及とオープン化の流れに伴い，計算機を構成するフレームワークは大きく変化してきている。計算機システムはハードウェア・オペレーティングシステム（OS）・ミドルウェア・アプリケーションで構成されており，ハードウェアとOSはメーカー独自から汎用へと変化してきている。

最近は，各メーカーの特色となっていたミドルウェアについても汎用ミドルウェアを組み込んだ，新しいフレームワークを構成してきている。

さらに，従来，食品・化学，組立加工などの分野に適用されてきたMES（Manufacturing Execution System）関連のパッケージについても，品質・トレーサビリティの観点から鉄鋼分野にも適用が進みつつある。

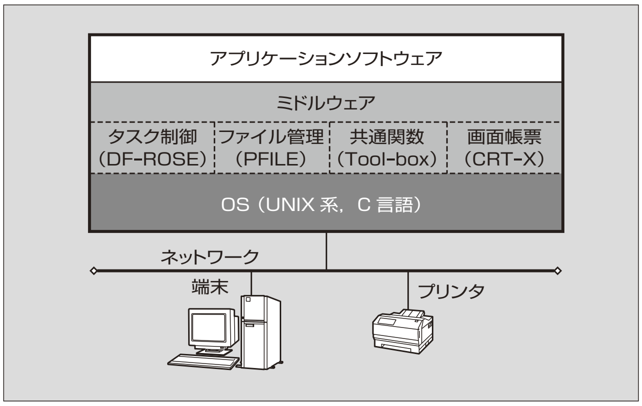
本稿では，新しいフレームワークおよびパッケージの鉄鋼分野計算機システムへの適用について紹介する。

2 鉄鋼分野の計算機システムの課題

鉄鋼分野の計算機システムでは従来からアプリケーション開発の言語としてC言語が採用されており，各アプリケーションは設備を最適に管理・制御できるように構築されてきた。

そして，これらのアプリケーションを効率よく，品質を保ちながら構築するために**図1**に示すようなミドルウェアをフレームワークとして採用している。このフレームワークを用いたシステムはメーカーごとに異なるシステムであり，オープン化も十分でないため，次のような課題があった。

図1　従来型フレームワーク構成



(1)　システム更新時には機種が変わるため，画面などは新規に再作成する必要があり作業工数がかかる。さらにシステムの基本部分が異なると，アプリケーションの互換性が低くなり，作業工数が増加する。

(2)　改造作業においては，アプリケーション間の依存性が強いため，改造する部分以外も影響がないか確認する必要がある。

これらの課題を解決していくために，以下のような新しいフレームワークやパッケージ，インタフェースを導入しており，システムの特性に応じて最適な組合せを提案し構築を行っている。

(a)　Webシステム用フレームワークの適用
(b)　装置フレームワークの適用
(c)　MES用パッケージの適用
(d)　標準インタフェースの適用

3 Webシステム用フレームワーク[(1)]

3.1 概　要

情報処理の分野ではネットワークの急速な普及により，システムの形態はWebシステムに移行してきている。こうしたWebシステムを効率的に開発できるように，フレームワーク製品「Web@Attach」を開発し提供している。

吉川　　肇

鉄鋼分野の計算機制御システムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社電機プラント本部第一統括部計測・制御技術部担当課長。

3.2 特　徴

(1)　統合開発環境（IDE）の活用

JSF（Java Server Faces）をベースとした統合開発環境を活用し，コンポーネントのドラッグアンドドロップによる画面開発が可能となっている。

(2)　多機能画面コンポーネントの提供

Web デザインにおけるコンポーネントが豊富に提供されており，ソフトウェアの開発効率を向上することができる。

(3)　軽量 DI（Dependency Injection）コンテナの装備

Web@Attach は DI コンテナ機能を提供しており，アプリケーションの仕様を XML（Extensible Markup Language）ファイルで定義することで，アプリケーション間の依存関係を排除しながら開発することができるようになっている。

(4)　O/R（Object/RDB）マッピングツールの装備

データベースアクセス部分の製作を効率化するため，O/R マッピングツールを活用し，SQL（Structured Query Language）を使用しないデータアクセスを可能としている。

具体的にはデータベース定義からデータアクセスオブジェクト（DAO）とマッピングクラスを自動生成する機能を提供している。

(5)　マルチプラットフォームへの対応

アプリケーションサーバとして，Windows[注1]，Solaris[注2]，Linux[注3] などの複数のプラットフォームに対応している。

3.3 適用の効果

(1)　品質・開発効率の向上

システム開発の品質確保に向けた最善の施策は，品質が確認されたソフトウェアを可能な限り使用し，製作するアプリケーションソフトウェア量を最小化することである。Web システムの開発事例を見ると，70% は，メニュー，表，単純なデータベース参照，入力などの標準的な画面開発で構成されるケースが多い。Web@Attach はこの部分に着目し，ソースコード生成，自動化，コンポーネント活用によって手組みソースコードを削減して，これまでより高い品質と開発効率を実現している。

(2)　保守性の向上

運用におけるシステム保守，特にアプリケーションの改造や修正はシステム保守担当者にとって非常に重要な問題である。特に，アプリケーション間に複雑な相互関係を持っていると改造・修正が非常に難しくなる。Web@Attach は，XML によるインタフェース定義を基にした DI コンテナによってアプリケーション同士の依存性をなくしており，プログラムの保守性が高い作りとしている。

4　装置フレームワーク

鉄鋼の設備を監視・制御するシステムとして，システムの再利用性向上や改造作業を容易にするため，アプリケーションの設計方式としてオブジェクト指向を取り入れたシステムを構築している。以下に，オブジェクト指向設計の適用課題と，開発支援環境の装置フレームワークについて紹介する。

4.1 オブジェクト指向設計

オブジェクト指向設計は，従来の C 言語を用いたシステムの設計方式と比べて以下の特徴を持っている。

(1)　業務内容をオブジェクト化することで，業務とソフトウェアを一対一対応とし，改善や追加・改造を容易にする。

(2)　各機能の独立性を高め，見通しをよくするため，以下のように機能を役割別に階層化して構造を統一することでシステムの追加・改造を容易にする（**図 2**）。

(a)　シナリオ層

各処理単位の流れを記述し，機能全体の見通しをよくする。

(b)　ビジネスロジック層

処理単位ごとのロジック部分を記述することで処理の独立化を図る。

(c)　データアクセス層

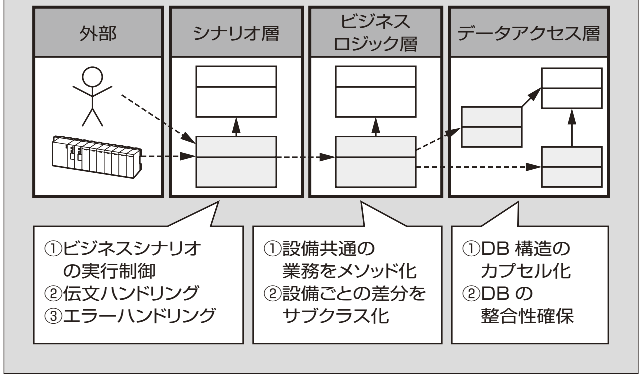
データベースへのアクセス部分を記述し，データベースの追加・改造時の修正を容易とする。

(3)　業務内容を設備共通部分と固有部分に分けてオブジェクト化することで，他設備への再利用度を高めることができるため，信頼性向上・トータルコストの低減が可能である。

4.2 オブジェクト指向設計でのシステム構築の課題

オブジェクト指向設計によるシステム開発は，システムのライフサイクル全体を通して，前述した長所を持ってい

図 2　オブジェクト指向による階層化例



〈注 1〉Windows：米国 Microsoft Corp. の登録商標

〈注 2〉Solaris：米国 Sun Microsystems, Inc. の登録商標

〈注 3〉Linux：Linus Torvalds の米国およびその他の国における登録商標または商標

る。しかしながら，鉄鋼分野への適用は始まったばかりであり，従来システムと比較して，既存資産も少ないことから以下の課題があった。

(1)　オブジェクト指向設計ではアプリケーションの機能を役割別に階層化して構造を統一化する設計を行うが，実際にこの構成で製作するための管理機能をシステムごとに作りこんでいたため開発効率や品質の面で問題があった。

(2)　鉄鋼分野の計算機システムでは，上位や他のプロセスコンピュータおよび下位の電気計装システムと通信を行うが，この機能についてもシステムごとの対応となり，開発効率や品質の面で問題があった。

(3)　アプリケーションプログラムの開発を支援するためのメッセージやログの管理，開発ツールなどが十分そろっていなかった。

これらの課題を解決するため，前述の画面を主に開発するためのフレームワークであるWeb@Attachに加え，画面以外の内部処理を効率よく開発するためのフレームワークである装置フレームワークを開発し提供している。

4.3　装置フレームワークの構成

オブジェクト指向のシステムを，効率よく開発することができる装置フレームワークの全体構成を**図3**に示す。このフレームワークはシステムの構築を容易にするための支援機能として以下の機能を持っている。

(1)　アプリケーション（AP）フレームワーク

アプリケーションを**図2**のような階層構造とするための管理機能を備えている。アプリケーション作成時には，機能に必要なロジックの記述と機能間の関連を記述したテーブルをセットアップすることでシステムの構築ができる仕組みとしている。

また，システムで発生するエラー情報やメッセージ情報を一元管理して，オペレーターへの操業状態の通知や異常発生時の通知などを行うメッセージ管理機能を持つ。

さらに，アプリケーションの動作トレースや異常発生時の状態出力を行い，開発時のアプリケーションのデバッグや問題点の早期解決などに使用するログ管理機能を装備している。

(2)　リアルタイムフレームワーク

他システムや電気計装システムと通信するためのネットワーク接続用のTCP/IPソケット通信ドライバのひな型を準備している。また，送受信する伝文のコード変換機能，アプリケーションへの振分け機能もテーブル定義で実施でき，送受信データの通信トレース機能や模擬伝文受信機能についても装備している。

(3)　Webシステム用フレームワーク

前述したWeb画面を効率よく開発するためのフレームワークであるWeb@Attachを採用している。

(4)　開発支援ツール

システム開発を効率的に進めるために必要な以下に示す各種ツールを準備している。

(a)　伝文定義，変換テーブル作成ツール

他システムと送受信する伝文とアプリケーションとの間を結びつけるツールで，各伝文の定義とデータ変換の形式を表形式で入力することにより必要な処理を自動生成することができる。

(b)　各種プロパティツール

アプリケーションを階層化したときの各処理の関係を定義するツールで，テーブルを定義するだけで関係定義が可能である。

開発支援ツールの全体構成を**図4**に示す。

4.4　適用効果

装置フレームワークを用いることにより，品質の高いアプリケーション構築環境をあらかじめ準備することができるようになった。これにより，システムの設計者はアプリケーションのオブジェクト指向設計に注力できるようになり，より保守性や再利用性の高いシステムの構築が可能になっている。

また，JAVA言語でシステムを構築しているため，次のシステム更新でハードやOS環境が変化してもアプリケーションは最小の変更で対応できるようになり，更新コストを最小限に抑えることができる。

図3　装置フレームワークの構成

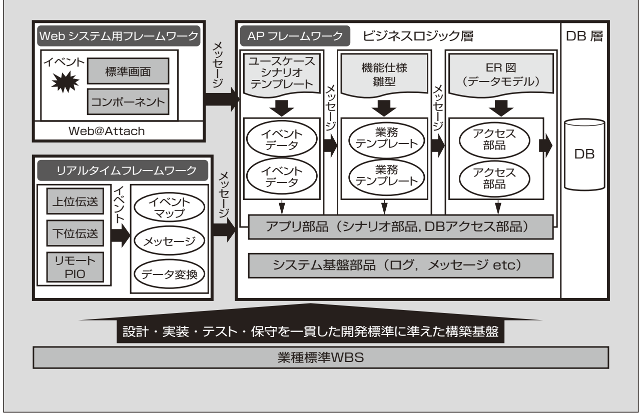
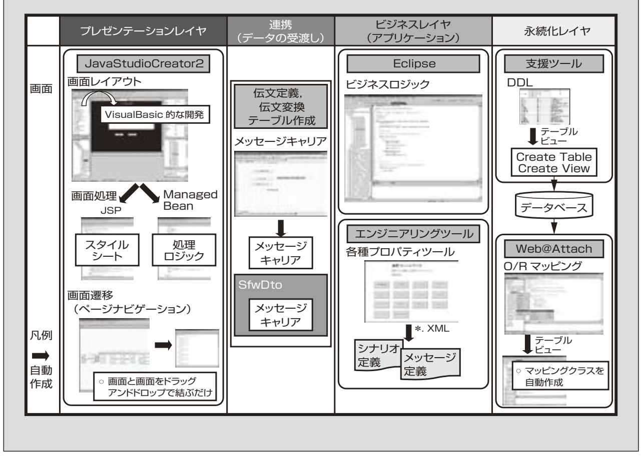


図4　装置フレームワークの開発支援ツール



これらの効果により，システム全体のライフサイクルコストを低減させることが可能になった。

5　MES 用パッケージの適用と DCS との垂直統合

鉄鋼分野においても高品質へのさらなる要求が出てきており，計算機システムへの MES 機能の実装が要求されるようになってきた。そこで，MES 用のパッケージである実績分析パッケージ「MainGATE-PPA」を用いてデータ収集を行い，収集したデータと制御用のアプリケーションとを組み合わせることにより，監視制御業務に重点を置いたシステムの構築を行っている。

この組み合わせたシステムでは，データ収集の定義および収集したデータの画面表示作成・帳票作成などはすべて実績分析パッケージのエンジニアリングツールによるテーブル変更で実行できるため，大幅な作業工数の削減が可能となっている。

さらに，DCS との垂直統合したシステムを構築することができる。**図 5** に富士電機製 DCS である新情報制御システム「MICREX-NX」と組み合わせたシステム全体構成例を示す。このシステムは DCS と計算機画面の統一（シングルウィンドウ）と通信インタフェースの標準化（OPC〈注 4〉の採用）を行うことができ，次の特徴を持つ。

(1)　MICREX-NX と計算機の画面共有化

計算機画面を Web 表示することで，1 台の OS クライアントで，DCS・計算機の画面を統合し，シームレスな監視操作を可能とした。また，Web で構築しているため，所内の業務用個人パソコンでもプラント画面の表示が可能である。

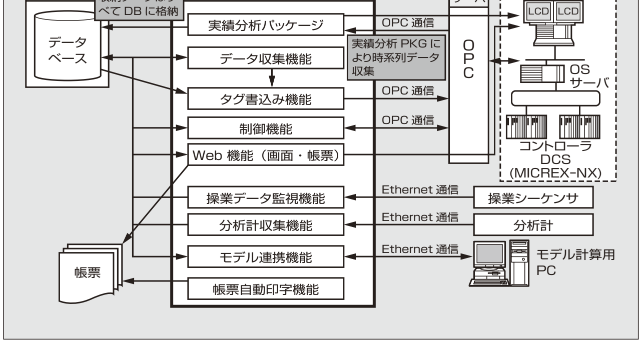
(2)　MICREX-NX と計算機のアラーム管理共通化

計算機で検出した異常はアラームタグとして MICREX-NX に送信し，OS クライアントにアラームメッセージを表示することにより共通管理を実現している。

(3)　MICREX-NX と計算機のデータ連携

〈注 4〉OPC：米国 Microsoft Corp. の標準インタフェース仕様

図 5　計算機全体機能構成図



OPC インタフェースにより MICREX-NX とのデータ連携を実現し，プラントの操業中でもタグデータの追加・変更が容易に実施できる。

(4)　実績分析パッケージによる操業データ分析機能(2)

MICREX-NX より収集したプロセスデータを保存，蓄積し，実績分析パッケージによるトレンドグラフ，帳票などが各個人で作成できる。

今回 MES パッケージのうち，収集・分析系の実績分析パッケージ「MainGATE-PPA」について鉄鋼分野への適用例を紹介したが，指示・イベント系のパッケージ「MainGATE-PO/EM」についても適用可能性の評価を行っている。評価の詳細は**表 1** に記述しているが，鉄鋼の上工程向けには十分使用できると考えており，今後適用を進めていく計画である。

6　標準インタフェース

計算機と電気計装設備とのインタフェースはネットワークによる通信が一般的となっており，TCP/IP によるソケット通信が多く使われてきている。そのなかで，近年マイクロソフトが提唱している OPC インタフェースが標準の通信インタフェースとして使われ始めており，MICREX-NX でも，OPC をクライアント端末の画面系データの受渡しに使用している。しかしながら，OPC は Windows の技術である DCOM（Distributed Component Object Model）を基礎としているため，現在鉄鋼分野向けのプロセスコンピュータで多く採用している UNIX 系の OS では直接通信することができない。このため，従来通信に OPC を採用しようとする場合には，ゲートウェイを間に入れてプロトコル変換を行う必要があった。しかしながら，この分野にもオープン化の流れが起きており，OPC-UA（Unified Architecture）が最近になり提唱されてきている。この特徴は，

(a)　データ構造の標準化

表 1　MES パッケージの鉄鋼分野への適用評価

代表的な鉄鋼設備	計算機システムの要件			MESパッケージ（MainGATE）の適用評価	
	データ量	データ収集速度	ロジック量	収集系，分析系（MainGATE-PPA）	指示系，イベント系（MainGATE-PO/EM）
エネルギーセンター	大	低	小	◎	◎
コークス	小	低	小	◎	◎
高　炉	大	中	大	◎	◎
転　炉	大	中	中	◎	○
連続鋳造	大	中	中	◎	○
圧　延	大	高	中	◎	△
プロセスライン	大	高	小	◎	△

◎：十分適用可能
○：プロジェクト仕様により検討必要
△：適用可能であるが制約あり

(b)　インタフェースの標準化

である。この中でインタフェースの標準化が実現できれば，使用するOSに限定されないで，C言語やJAVAからどのメーカーの電気計装システムでも自由にアクセスができるようになる。

これにより，UNIXマシンからもWindowsマシンからも同一のインタフェースでアクセスできるため，システム更新においてもインタフェースの変更なしに移行できることになり，品質向上・工数削減が可能になる。

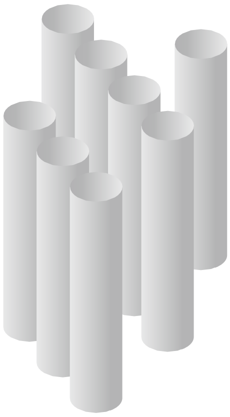
7　あとがき

システムの開発技術は，オープンソースの普及とあいまって急速に進展している。計算機用のパッケージ，フレームワークとしてこれらの最新の技術を取り入れたものの適用をすすめ，ライフサイクルコストの削減，品質向上をさらに進めていく所存である。

参考文献

(1)　東谷直紀ほか．プラント系製造ソリューション．富士時報．vol.79, no.3, 2006, p.209-213.

(2)　大柴正清ほか．Webシステム用フレームワーク「Web@Attach（ウェブアットアタッチ）」．富士時報．vol.79, no.3, 2006, p.237-241.



医薬品業界向けFDA 21 CFR Part 11に対応した新情報制御システム「MICREX-NX」

渡辺　大介（わたなべ　だいすけ）　小林　益之（こばやし　ますゆき）　若杉　繁実（わかすぎ　しげみ）

1　まえがき

最近の医薬品業界では，少子高齢化社会へ向けた行政の医療制度の大幅な見直し，製薬会社同士の大型合併や新薬の開発競争，外資系製薬会社の積極的資本参入など激しい変動期を迎えている。また，グローバル市場での活動を展開するにあたっては，FDA（Food and Drug Administration：米国食品医薬品局）21 CFR Part 11（Title 21 Code of Federal Regulations Part 11：連邦規則第21条第11章）や日本国内において2005年に厚生労働省が施行した「日本版Part 11」などで薬事規制下でのER/ES（Electronic Records and electronic Signatures：電子記録・電子署名）に対応する製造監視制御システムが要求されている。

本稿では，レガシーシステム（既存システム）を更新対象として富士電機の新情報制御システム「MICREX-NX」を適用し，ER/ESに対応した監視制御システムの納入事例を紹介する。

2　FDA 21 CFR Part 11

2.1　発効の背景

医薬品業界では，研究・開発から製造・販売に至るシステムのIT化が進むに伴い，そのメリットを有効利用すべく，以下の要望が大きくなった。

(a)　ペーパーレス化・省スペース化（データ保存場所の削減）

(b)　電子的管理による操作履歴などの迅速な検索

(c)　規制当局の査察の効率化・迅速化

これに対しFDAは，紙に比べて改ざんが容易で痕跡が残りにくい電子記録・電子署名を容認するにあたって信頼できるシステムへの具体的な要求事項を提示した。これが21 CFR Part 11（以下，Part 11という）である。この規則は1997年8月に発効され，その後2003年8月に発表されたガイダンスにより追加修正され現在に至っている。

2.2　主な要求事項

電子記録・電子署名の信頼性を確保するためにPart 11では，主に以下の要求事項を挙げている。

(a)　使用するシステムはコンピュータバリデーションされていること

(b)　電子記録として残すべき記録事項を定義し，その電子記録の完全なコピー作成が可能なこと

(c)　電子記録が保管期間内で完全な記録の読出しが可能なこと

(d)　記録の変更履歴が分かるように操作履歴（監査証跡）が作成されること

(e)　電子データは改ざんが容易なため，電子データに対するセキュリティ管理を確立すること

(f)　電子署名は直筆サインの代わりになり“個人を特定する機能”を有した信頼性の高いものであること

2.3　条文と構成

詳細内容についての記述は割愛するが，従来の紙ベースの記録を電子媒体に置き換える場合の要求事項を規定し，電子記録・電子署名が信頼に足るものであり，紙による記録・署名と同等であることを認めるための基準を定めたもので，“一般条項”“電子記録”“電子署名”という3章から構成されている。

A. General Provisions（一般条項）

11.1　Scope（適用範囲）

11.2　Implementation（実施要領）

11.3　Definitions（定義）

B. Electronic Records（電子記録）

11.10　Control for closed Systems（クローズドシステムの管理）

11.30　Control for open Systems（オープンシステムの管理）

11.50　Signature manifestations（署名内容）

11.70　Signature/record linking（電子署名と電子記録のリンク）

C. Electronic Signatures（電子署名）

渡辺　大介

食品・医薬品・化学プラントの計測制御システムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部PIA統括部計測システム技術第一部技術グループ主任。

小林　益之

食品・医薬品・化学プラントの計測制御システムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部PIA統括部計測システム技術第一部技術グループマネージャー。

若杉　繁実

エネルギー分野をはじめとした計測制御システムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部PIA統括部計測システム技術第一部長。計測自動制御学会会員。

11.100　General Requirements（一般的要求事項）

11.200　Electronic signature components and controls（電子署名の構成要素と管理）

11.300　Controls for identification codes/passwords（ID コードとパスワードの管理）

2.4　適用対象となる企業

製薬会社が下記の対象である場合，FDA に研究・開発・製造に関する記録を電子データとして提出する必要がある。

(a)　米国に拠点を持つ企業

(b)　FDA 管轄の諸国に新薬・医療機器を申請（販売）する企業

(c)　世界的な規模で治験を実施する企業

(d)　米国に本社があり，本社の方針として必要な企業

(e)　上記のような状況下の顧客を持つ CRO（開発業務委託機関）など

3　納入システムの事例

第一三共プロファーマ株式会社秋田工場向け医薬品原薬プラントにおけるシステムの納入事例について紹介する。

3.1　既設 DCS のマイグレーション

既設 DCS は，富士電機製「MICREX-PⅢ」である。システムの構成は DCS に加え，システムの一部を構成する PLC「MICREX-F」が専用プロセッサリンク「P リンク」で接続されている。さらに製造現場では，防爆エリアの多いプラントの性格上その安全性を重視してプラント建設時に採用された光計装システム「FFI」が，100 台を超えて稼動している。

本事例において，DCS システムをマイグレーションする第一の目的は，DCS システムの老朽化対応と新機能として Part 11 に対応することである。マイグレーション計画の立案にあたっては，既存の資産を有効利用することにより更新コストを低減し，操業停止期間を短縮するために，システムの現地切替時間を極力短期間にすることを基本方針とした。

(1)　既設機器の有効利用

DCS はシステム更新を実施するが，更新時期を迎えていない PLC や動力盤，フィールド機器はマイグレーション機器を使用することで生かしつつ**図 1** に示すシステム構成に更新した。

(2)　既設アプリケーションソフトウェアの有効利用

アプリケーションソフトウェアの更新についてはライブラリ化された制御機能部品を適用することでソフトウェア制作作業の効率化と高品質化を実現した。

(3)　操業停止期間の短縮

ハードウェア構築においては，更新工事に伴う操業停止期間を極力短期間にすることを目的とし，新システムの DCS ロッカを既設構造に合わせた機器実装で製作した。さらに，既設外線ケーブルは既設コネクタ端子台をそのまま流用できる構造にすることで据付け配線工事および切替後の I/O 試験の効率化を図った。**図 2** は新システムへのロッカ更新方法について示したものである。[(1)]

図 1　システム構成図

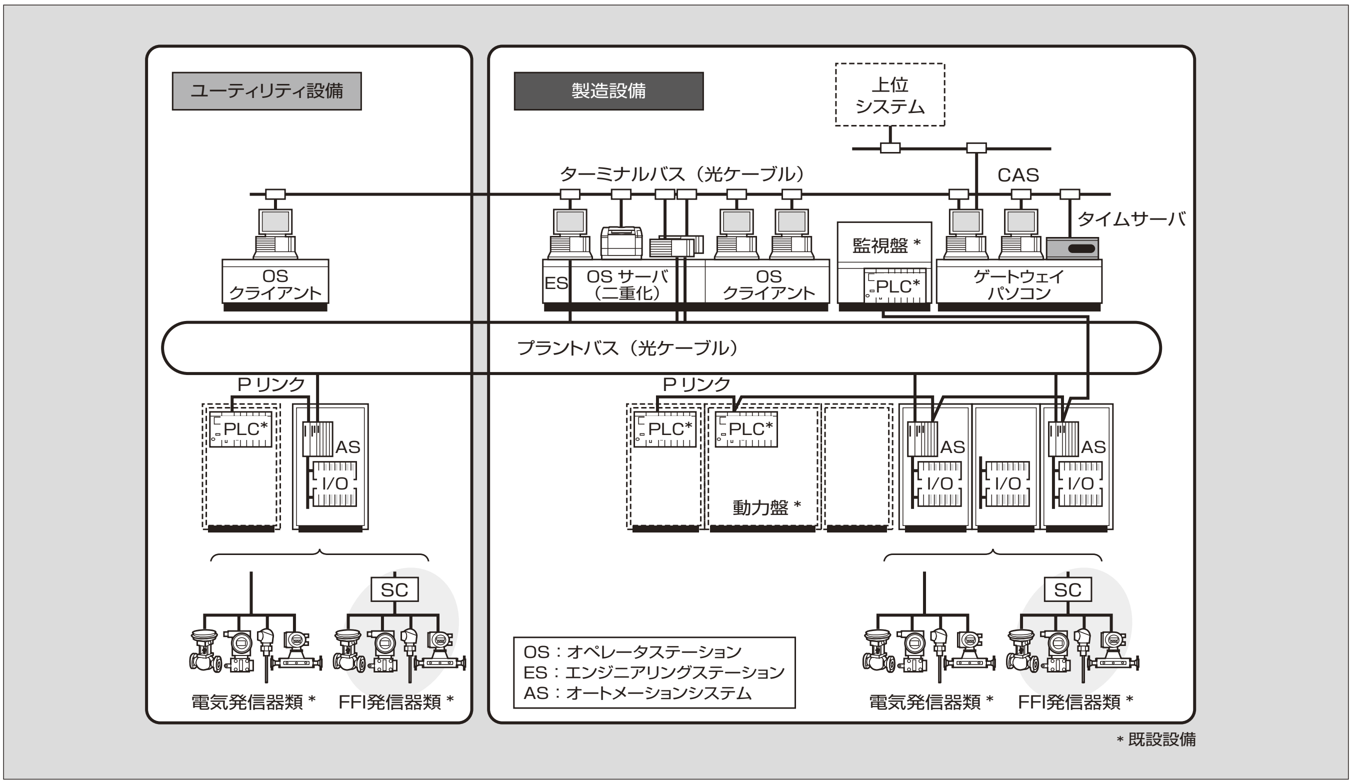


図 2　新システムへのロッカ更新方法例

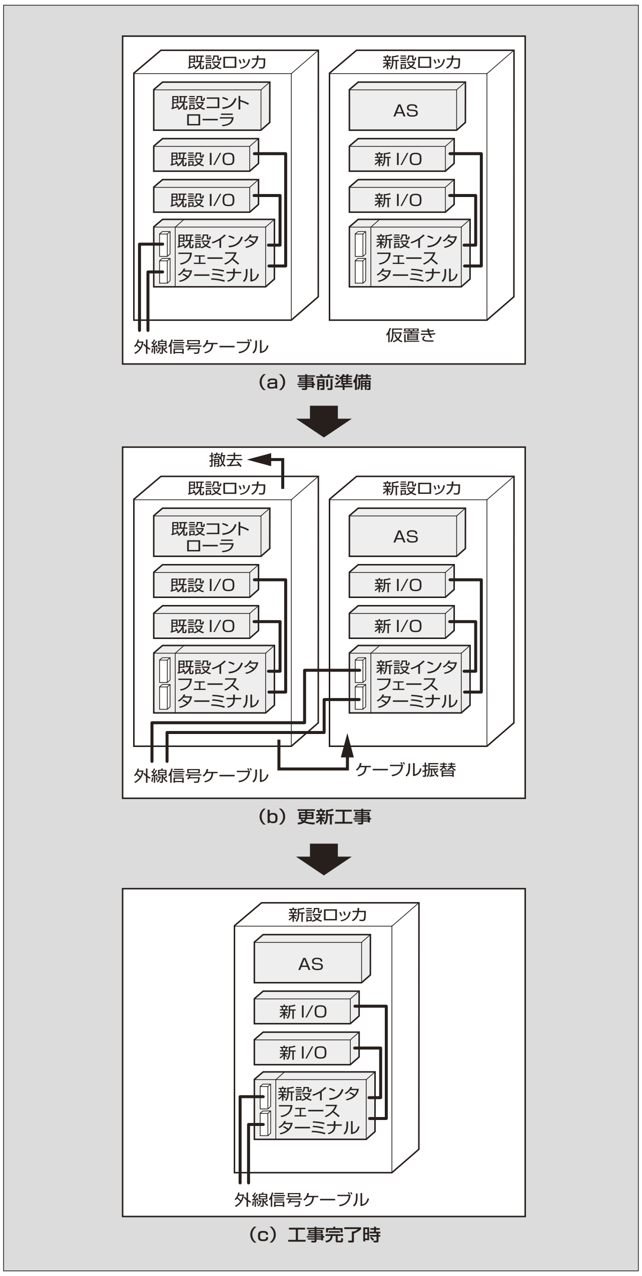


図 3　中央操作室

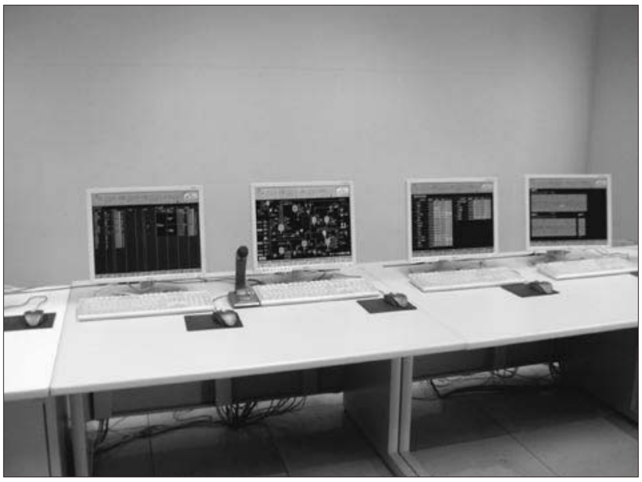


図 3 に中央操作室の概観を示す。

3.2　MICREX-NX における Part 11 対応

(1)　Part 11 機能の構成

MICREX-NX の Part 11 機能は，Windows〈注〉をベースとして MICREX-NX の標準機能を補完する形で Part 11 対応の下記パッケージが用意されている。

(a)　SIMATIC Logon Service（ログオンサービス）

(b)　SIMATIC Logon Admin Tool（ログオン管理ツール）

(c)　SIMATIC Electronic Signature（電子署名）

これらのパッケージを用いることで，各クライアントへのユーザーログオン機能の追加やユーザー権限の管理と権限の割当，電子署名作成機能の追加が実現できる。**図 4** に MICREX-NX の Part 11 機能の構成を示す。

(2)　電子記録に対するシステムサポート

Part 11 対応の要求事項の一つである“電子記録”には，製造データのほかにオペレーターがプラントを運転操作する操作履歴を残すことが要求されている。MICREX-NX では“いつ”“誰が”“どこで”“何を”“なぜ”“どうした”の 5W1H の形式で監査証跡として残すことが可能である。

本システムがサポートしている電子記録機能は以下のとおりである。

(a)　ユーザーに対するシステムへのアクセス制限

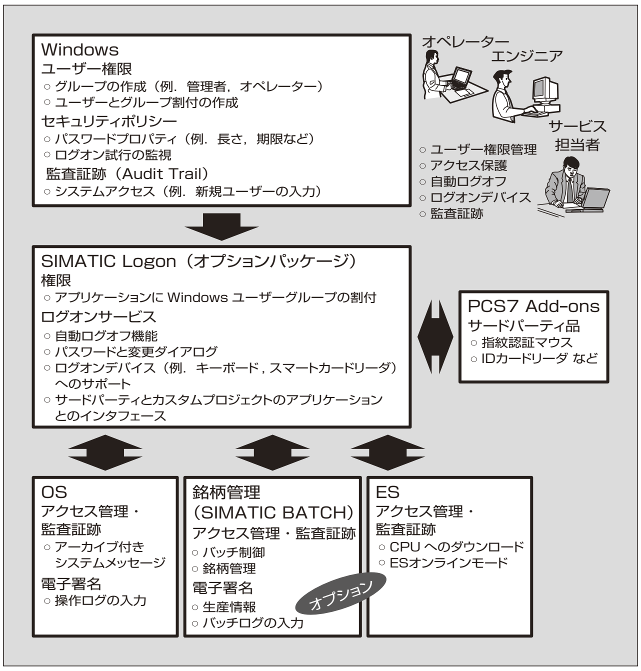
(b)　電子記録保存期間中における正確で迅速な検索を可能とする電子データの保護

(c)　人間が読める，査察に適した電子形式であり，正確で完全なコピーの作成が可能

(d)　OS（オペレータステーション）には銘柄管理用の

〈注〉Windows：米国 Microsoft Corp. の登録商標

図 4　MICREX-NX の Part 11 対応の機能構成



標準帳票や拡張帳票機能を装備

(e)　自動的にアーカイブして，例えば CD-R などに二重保存が可能

(f)　記録済み情報不明瞭化防止

(g)　監査証跡のアーカイブと保存期間中の検索が可能

(h)　コメントの追加，データ表示と評価，データ変更，フォーマット変換（例，PDF，XML など）がアプリケーションで可能

今回は，CAS（Central Archive Server）をシステム上に構築し，製造データであるトレンドデータや操作履歴・アラーム履歴の長期保存，さらに外部媒体への保存，また外部媒体へ保存したデータを復元し，過去の製造記録の閲覧可能とする機能を持たせることで Part 11 の要求事項である電子記録を実現した。**図 5** に CAS の機能説明を記載する。

(3)　電子署名に対するシステムサポート

電子署名は，紙ベースの文書における印やサインに相当するものを電子的に実現するものであり，本人であることの確認や改ざんの防止を目的としており，以下の機能をサポートしている。

図 5　CAS（セントラルアーカイブサーバ）の機能説明

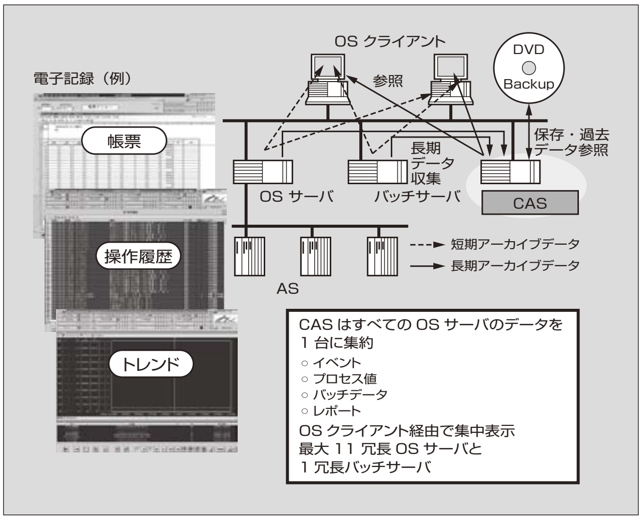
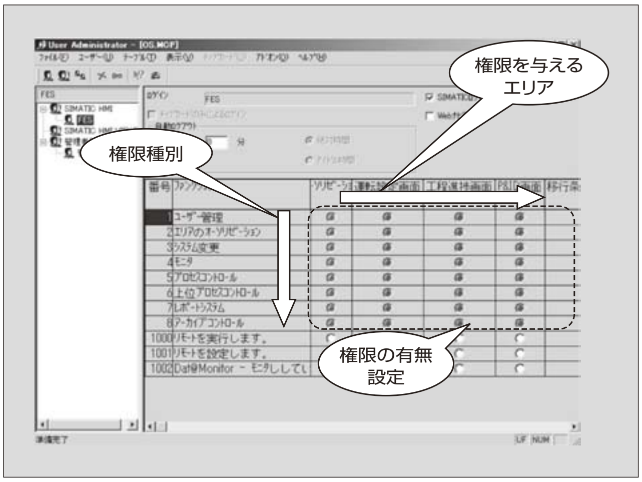


図 6　ユーザーアドミニストレータ画面例



(a)　ユーザー ID とパスワードのユニークな組合せ

(b)　署名には 2 つの要素（ユーザー ID とパスワード）が必要

(c)　署名時および署名が記録された後の改ざん防止（ユーザーの初回ログイン時に強制的にパスワード変更を要求。ユーザー ID とパスワードの不正使用は検出され記録）

(d)　署名者のフルネーム，署名の詳細日付（年月日時分秒）および操作理由コメントの電子記録を表示

(e)　署名後の電子署名および電子記録のリンク変更の禁止

また，Part 11 ではユーザー各人によるシステムへのアクセス管理が要求されている。MICREX-NX では，システムへのアクセス権限をエンジニアリング権限やオペレーター権限，オペレーター責任者権限などの階層化した権限グループを必要に応じて設けることができ，各ユーザーをその有資格者に割り当てることで各権限が与えられる仕組みとなっている。**図 6** に権限を設定するユーザーアドミニストレータ画面例を示す。この仕組みにより，OS クライアントから操作対象（内部計器/補機操作フェースプレートや定数設定画面など）への操作を制限することが可能となり，資格を持たない者のシステムへの不正アクセスを防止するなどアクセス管理を行っている。操作対象へ操作を

図 7　電子署名ダイアログ

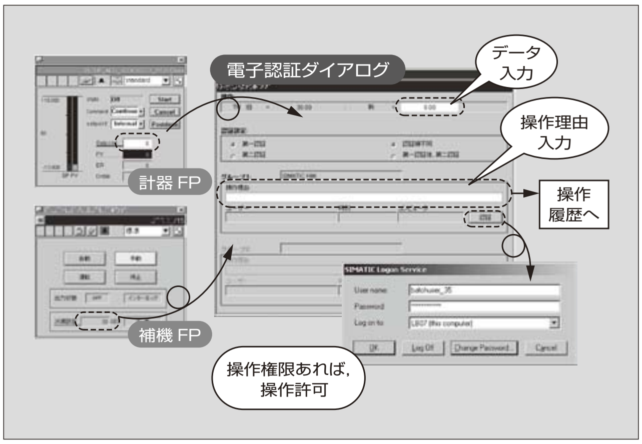


図 8　指紋認証マウス外観

行う場合の流れについて**図 7** に示す。

また，このシステムでは，ユーザー ID とパスワードによるアクセス管理にバイオメトリクスの一つである指紋認証によるユーザー認証を併用することでセキュリティ向上を図っている。**図 8** に指紋認証付きマウスの外観を示す。このほかに IC カードを利用したユーザー認証を行うことも可能である。

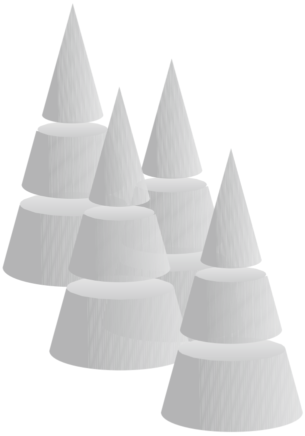
4　あとがき

FDA 21 CFR Part 11 に対応した富士電機の「MICREX-NX」について紹介した。今後も変化し続けるさまざまな医薬業界のニーズに対し，各種ソリューションを提供していく所存である。

最後に本システムの構築に多大なご協力をいただいた第一三共プロファーマ株式会社秋田工場殿の関係各位に感謝申し上げる次第である。

参考文献

(1)　大島徹，大森元孝．鉄鋼プラントにおける情報制御システム．富士時報．vol.79, no.3, 2006, p.248-252.



灰溶融プラント向け新情報制御システム「MICREX-NX」

野村　和朗（のむら　かずお）

1　まえがき

灰溶融とは可燃ごみを焼却したときに残る焼却灰を電気やガスを使って1,200℃以上に加熱・溶融し，減容する技術である。焼却灰を溶融したあとに冷却・固化すると“スラグ”ができあがる。ごみを焼却して灰にすると，容積は約1/20になり，灰を溶融してスラグにすると，容積はさらに約1/2とすることができ，ごみの容積を減らすことができる。灰溶融プラントは最終処分場の確保が困難な状況下で，最終処分場の延命化に貢献し，灰を高温溶融することで灰に含まれるダイオキシンを分解・無害化することができ，またその生成物であるスラグは道路舗装の建設副材などにして再利用できることから，注目を集めている[(1)]。

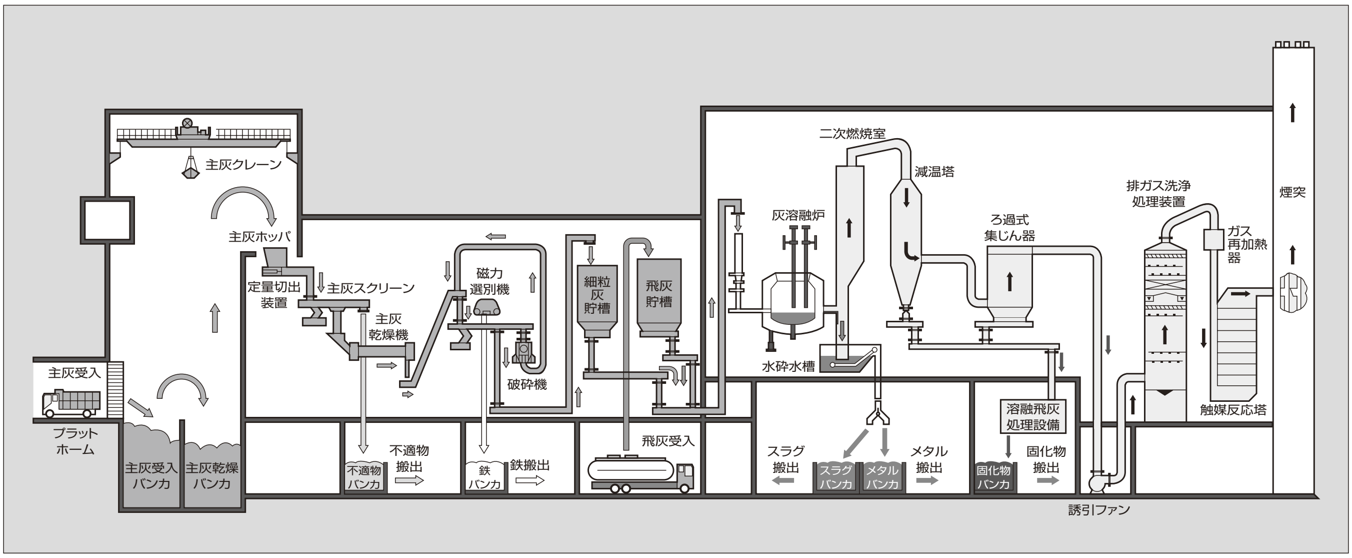
ここでは，三菱重工業株式会社横浜製作所経由東京二十三区清掃一部事務組合向け中防灰溶融施設に納入した新情報制御システム「MICREX-NX」による大規模監視制御システムについて紹介する。

中防灰溶融施設は，東京二十三区内の清掃工場で発生する焼却灰を溶融処理するための電気加熱式（プラズマ式）灰溶融プラントであり，その処理能力は日本最大級（400トン/日）である。スクリーン，乾燥機，磁力選別機にて前処理を行った灰は溶融炉へ投入され，電極から発生するプラズマアークにより溶融し，水砕水槽で急冷して，スラグとなる。排ガスはろ過式集じん器，排ガス洗浄処理装置，触媒反応塔などにより厳しい自主規制値以下に処理され，煙突から排出される。このほかに汚水処理設備，受変電設備，ユーティリティ設備，搬入搬出設備など広範囲の設備を有している。これらの設備全体の監視・制御はDCSで行っており，入出力の総点数はおおよそ20,000点となっている。**図1**に灰溶融プラントの概略フローを示す。

2　システムの特徴

本システムには，プラント全体の集中監視・操作を行うために液晶モニタとマウスをオペレーターインタフェースとして採用している。また，各プロセスの制御を行うオートメーションシステム（AS），監視・操作を行うオペレータステーション（OS）クライアント，データの蓄積を行

図1　灰溶融プラントの概略フロー



野村　和朗

主にごみ焼却プラントのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部PIA統括部計測システム技術第一部。

図 2　システム構成図

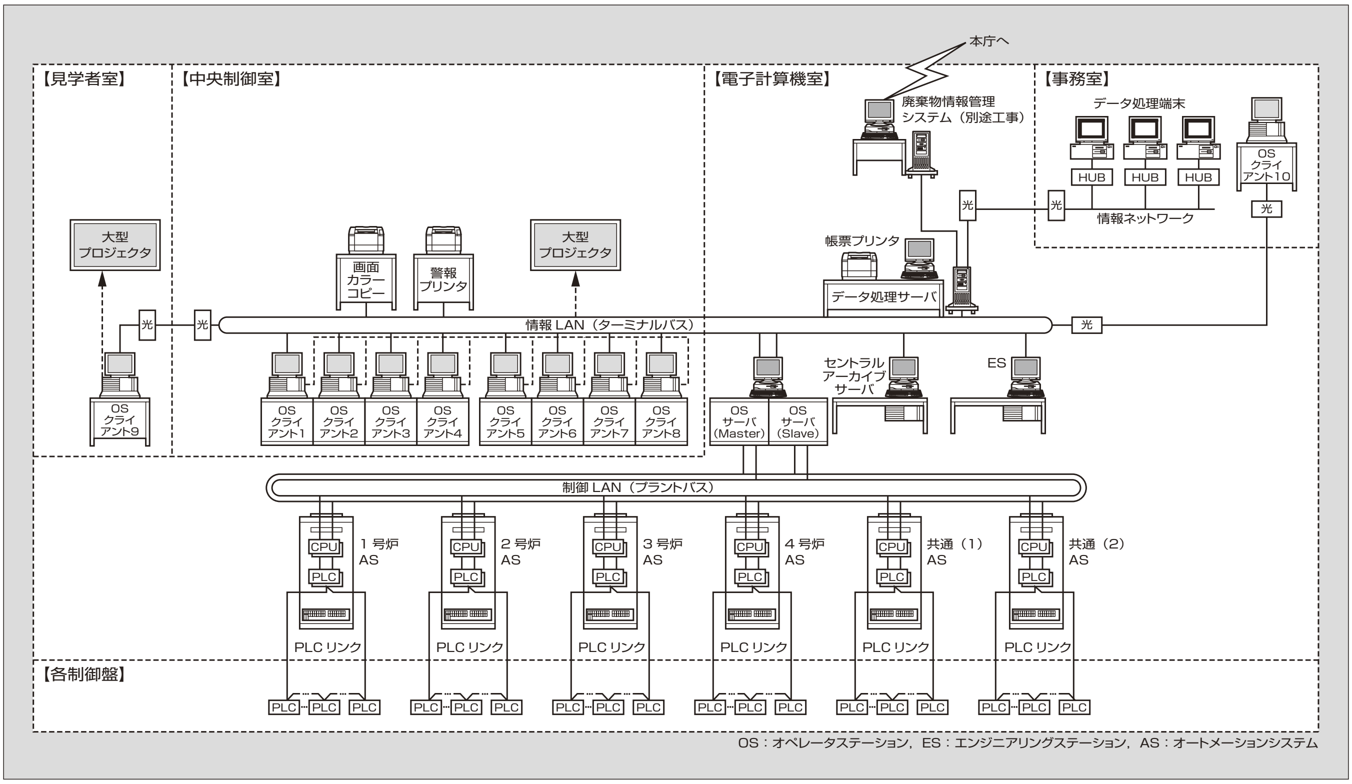


図 3　AS のロッカ内部

図 4　中防灰溶融施設の中央制御室

う OS サーバから構成され，各機器間を制御 LAN（プラントバス），情報 LAN（ターミナルバス）で接続した分散型システムである。**図 2** にシステム構成を示す。

灰溶融プラントでは連続操業が求められるため主要機器はすべて二重化している。**図 3** に AS のロッカ内部構成を示す。OS クライアントの画面は中央制御室や見学者説明用に大型プロジェクタへ投影される。プロジェクタの画面は運転監視用と同一であるが，見学者説明用の OS クライアントでは，プラント稼動への影響をなくすためシステム設定により機器操作はできないようになっている。**図 4** に中央制御室の概観を示す。

本システムは，次のような特徴を持ったシステムである。

2.1　灰溶融プラントの自動化

OS クライアントからすべての運転操作を行うことができる。操作はフェースプレートと呼ばれる割込み画面をプラントフロー画面から呼び出して行う。フェースプレートには警報指示計，PID 調節計，積算計などのアナログ計器と，補機・バルブ類を操作するための操作計器がある。多様な操作を行うためフェースプレートを準備する必要があるが，フェースプレートはライブラリ化が可能なため過去のライブラリからの再利用することができ，新たに作成したものをライブラリ化して今後のプラント用に再利用する

こともできる。

プラント定常時の制御はもとより，プラントの立上げ・立下げも含めて自動化しており，この自動化にはSFC（Sequential Function Chart）というプログラミング言語を使用した。SFCはIEC61131-3で定義された世界標準として統一されたプログラム言語で，動作ステップごとにファンクションブロック（FB）を組み合わせることで制御を組み立てていく。そのため，プログラムの基となる顧客から提示されたフロー図との突合せが容易となり，デバッグ・運転動作確認を円滑に行える。また，FBを組み替えることで，フローの変更も容易に行える。この自動化制御は自動化シーケンス初期化処理機能，工程渋滞監視機能，自動化ステップの強制スキップ機能などプラントの運転状況にフレキシブルに対応するための機能を持っている。

このほかにも，電力デマンド監視による受電電力量の契約電力オーバーの監視，および異常時の緊急停止によるプラントの安全確保についても自動制御で行っている。

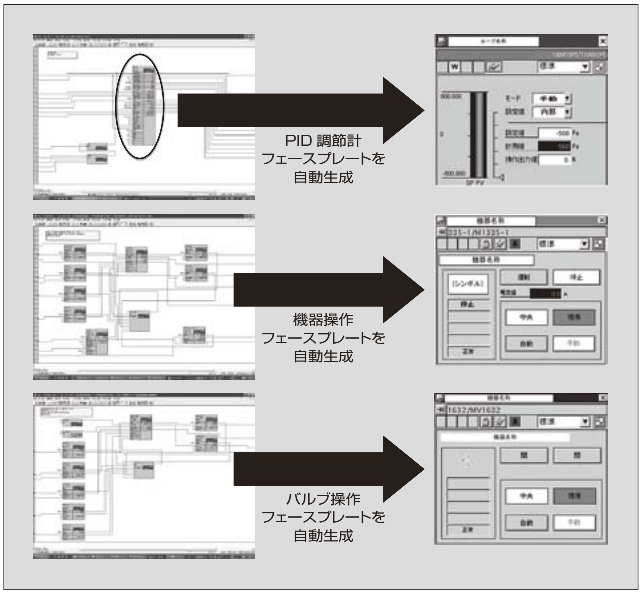
2.2　MICREX-NXとPLCの連携システム

PLCが現場制御盤などに設置され，多用されている。個別の制御は各PLCで行い，全体制御をDCSで行うという役割分担となっている。PLCとDCSとを通信ネットワークで結ぶことで大容量のデータ連携を可能にし，DCSと接続するPLCは二重化構成として信頼性を高めた。

2.3　統合化エンジニアリング環境

エンジニアリングはエンジニアリングステーション（ES）にて行い，ライブラリ化したFBをドラッグアンドドロップすることでグラフィカルにレイアウトし，パラメータを設定するだけで簡単に作成できる。**図5**は今回使用したフェースプレートの代表例を示す。フェースプレートはライブラリから必要に応じてコピーし，使用することができる。

図5　グラフィック画面の自動生成



2.4　SFCビジュアリゼーション

SFCビジュアリゼーションは，ESで作成したSFCソフトウェアからOSクライアント上でオンライン監視・操作できるようにビジュアル画面を自動生成する機能である。自動化画面などのデバッグに使用することで，試験の効率を上げることができる。**図6**にSFCビジュアリゼーションのしくみを示す。

2.5　セントラルアーカイブサーバ

OSサーバに保存されるトレンドデータ，警報メッセージ，運転履歴などのデータは，通常はハードディスク容量の制約から一定期間を過ぎると消去されてしまう。セントラルアーカイブサーバ（CAS）を設置することで，これらのアーカイブデータの長期保存が可能となり，長期データの検索を可能にし，ペーパーレスによる省資源化を図ることができる。また，トレンドデータはCSVデータとし

図6　SFCビジュアリゼーションのしくみ

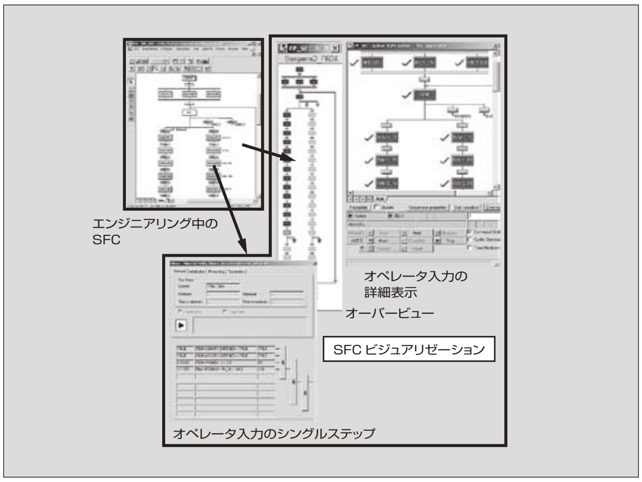


図7　CASの動作フロー

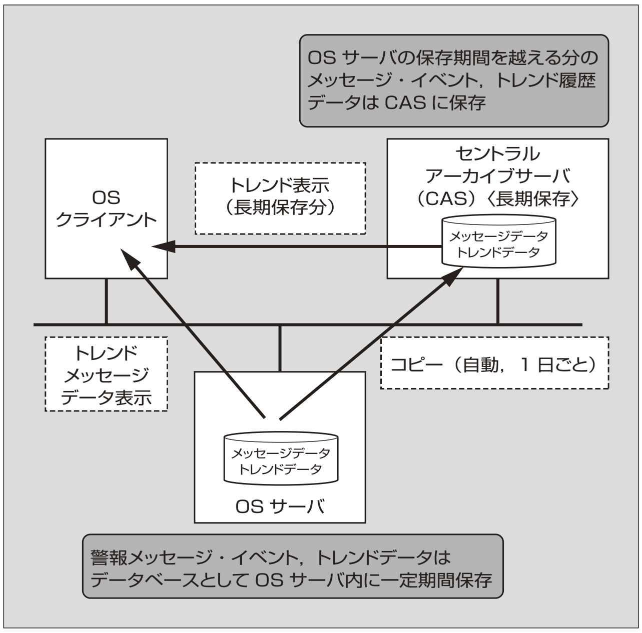
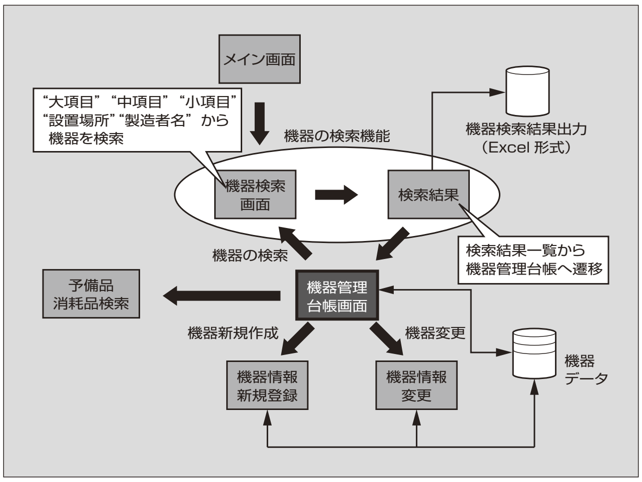


図 8　機器台帳システムフロー



ても取出し可能である。**図 7** に CAS の動作フローを示す。

2. 6　データ処理サーバシステム

データ処理サーバは次のような機能をもっている。

(a)　プラント稼動データ帳票（日報，月報，年報）の作成・修正・定刻自動印字を行う。

(b)　電子計算機室のデータ処理サーバと事務室のデータ処理端末はクライアントサーバ構成となっている。ユーザーはタグを選択するだけで帳票を作成でき，業務報告書などに添付資料として活用している。

(c)　灰溶融施設内の排ガス濃度などのプラント稼動データは廃棄物管理システムを通して，組合本庁へ送信される。そこで他の清掃工場のデータとともに二十三区内全体のプラント稼動データとして管理される。

(d)　機器台帳システムにはプラントで使用する各機器の仕様・補修履歴・予備品/消耗品の発注先や入出庫履歴などの情報がデータベース化されている。大量の機器データの検索が可能となっており，メンテナンス業務の効率化につながっている。**図 8** に機器台帳システムのフローを示す。

3　あとがき

「MICREX-NX」には，ほかにもたくさんのオプション機能（安全計装，フィールド機器管理ツールなど）がある。これらを活用し，灰溶融プラントをはじめプロセスオートメーションの分野で最適なソリューションを供給していく所存である。

最後に本システムを完成するにあたり，多大な御協力をいただいた三菱重工業株式会社横浜製作所殿，および東京二十三区清掃一部事務組合殿をはじめとする関係各位に感謝を申し上げる次第である。

参考文献

(1)　東京二十三区清掃一部事務組合．中防灰溶融施設建設工事のあらまし．2004-9.

天然ガスパイプラインの遠隔監視システム

庄林　直樹（しょうばやし　なおき）

1　まえがき

富士電機は，1984 年に石油資源開発株式会社・秋田鉱業所由利原鉱場に監視制御システムを納入した。その後，1993 年に DCS（Distributed Control System）に更新し，さらに 2007 年に送ガス状況遠隔監視システムを納入した。

本稿では，由利原鉱場に納入したパソコン DCS を応用したシステムを中心に，天然ガスパイプラインの遠隔監視システムについて紹介する。

2　ガスパイプライン設備

石油資源開発株式会社は，総延長約 826 km にも及ぶ天然ガスパイプラインネットワークを操業している。このパイプラインネットワークは，勇払－札幌間ガスパイプライン，新潟－仙台間ガスパイプライン，白石－郡山間ガスパイプライン，新潟県内ガスパイプラインおよび秋田県内ガスパイプラインから成る。これらのパイプラインの要所には，緊急時にガスの流れを遮断する弁，ガスの圧力，温度を監視する計器，需要家への供給流量を計測する計器などが設置されている。

今回紹介する監視システムは，秋田県内の由利原・油ガス田，鮎川・油ガス田などで生産している天然ガスを秋田県内の需要家に送るガスパイプラインを遠隔監視している。

3　監視システムへの要求事項

ガスパイプラインのガスの状態を監視するシステムには次の機能が求められる。

(a)　パイプラインの圧力，温度情報，需要家への供給流量などを，中央基地の監視室からリアルタイムに監視できること
(b)　異常値を示した場合は，早急に警報を出力すること
(c)　各データを帳票にて記録する機能を持つこと
(d)　異常時には遠隔操作にて的確にパイプラインの遮断を行えること

4　由利原鉱場の監視制御システム

4.1　概　要

由利原鉱場は，中央基地内または近傍にある坑井基地で産出した天然ガスを，中央基地内で処理を行った後，ガスパイプラインを通して需要家に供給している。坑井基地および中央基地内の設備，さらにガスパイプラインの監視制御のために，富士電機はパソコンとプログラマブルコントローラ（PLC）を応用した DCS を納入している。**図 1** に示すように，由利原鉱場のシステムは従来からある DCS 機能にとどまらず，テレメータテレコントローラ（TM/TC），IT を応用したシステムを融合した構成となっている。

4.2　システム構成

由利原鉱場の中央基地には，富士電機のパソコン DCS「FOCUS-Jupiter」を納入した。オペレータステーションは，富士電機の監視パッケージを搭載したパソコンである。鉱場内の機器だけではなく，遠隔にある坑井基地，ガスパイプラインの状態すべてを表示し，1 台のパソコンで集中監視することができる。鉱場内機器の制御を行うコントローラとして冗長化した富士電機の PLC「MICREX-SX」を採用している。さらに遠隔にある坑井基地のデータを収集するために，TM/TC を接続した。また，ガスパイプラインの監視を行うために IP-VPN（Internet Protocol-Vertual Private Network）技術を応用した PLC ネットワークによる監視制御システムを採用し，DCS，TM/TC と組み合わせることで，一つの監視システムとして扱うことが可能となった。遠隔監視を行う方法については，それぞれの技術の特徴を考慮し採用した。以下に各遠隔監視技術を紹介する。

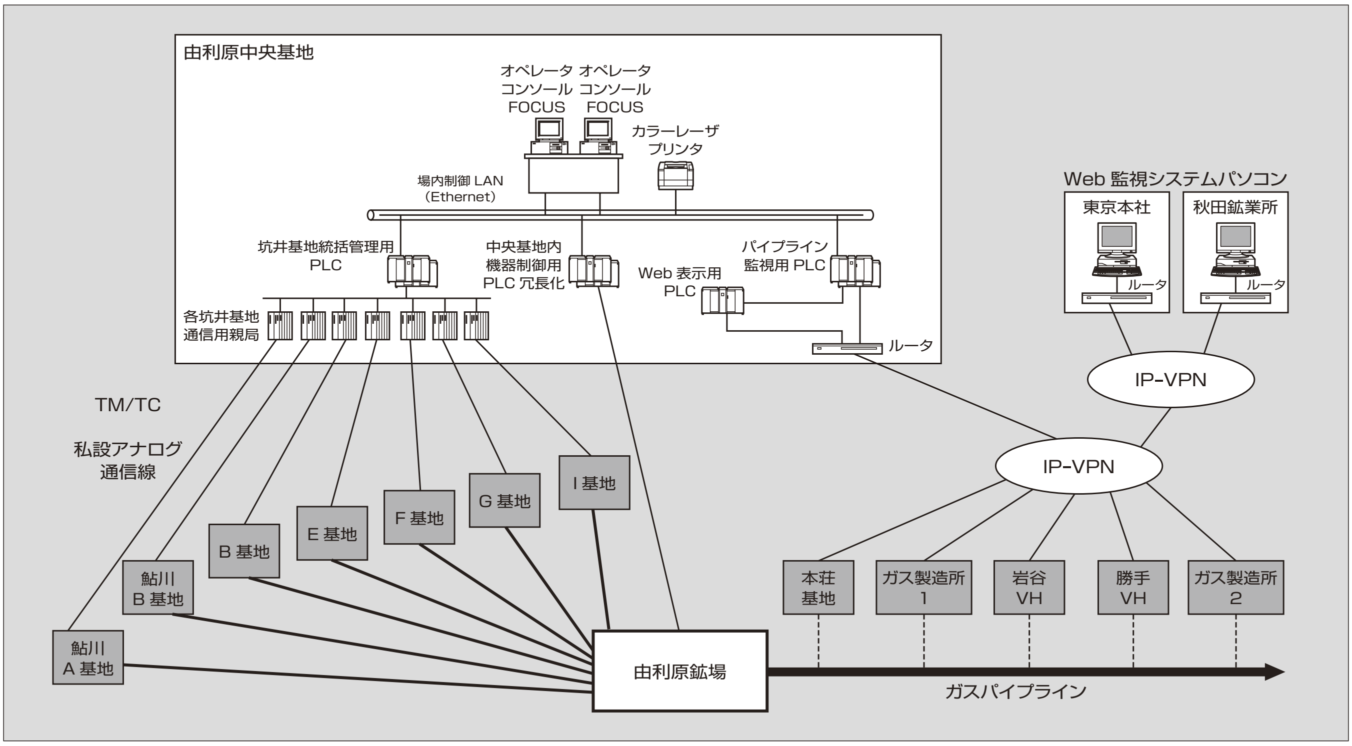
4.3　TM/TC による伝送

由利原鉱場では，古くから遠隔にある坑井基地を監視するために私設通信回線を敷設している。この通信回線を生かすため，坑井基地に関しては，TM/TC にて中央基地

庄林　直樹

石油，ガスパイプライン，空港給油設備の計測制御システムのエンジニアリング業務に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部 PIA 統括部計測システム技術第二部担当課長。

図１　由利原鉱場の全体システム構成



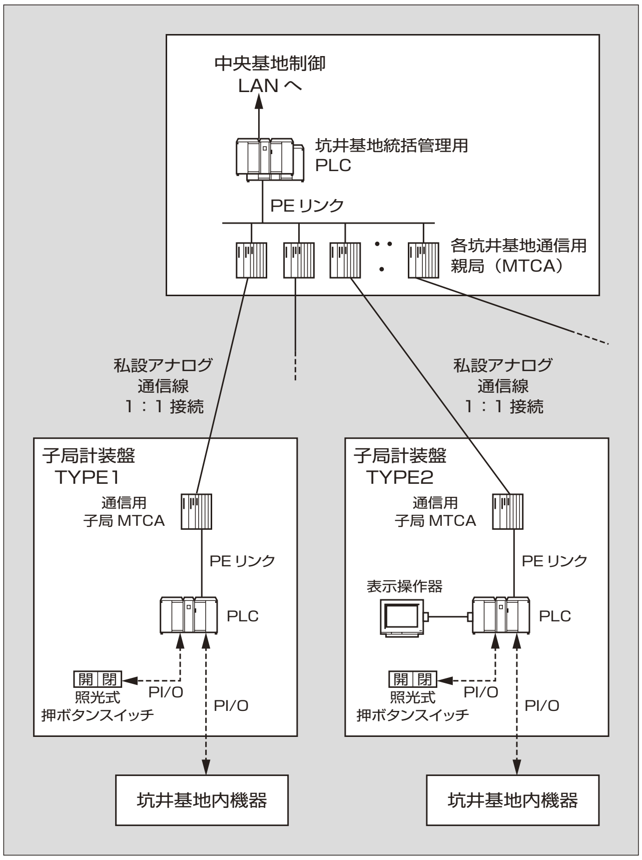
と通信を行う方式を採用した。**図２**に詳細を示す TM/TC 部は従来からある技術で信頼性の高いものである。私設線のため，通信会社のランニングコストもかからない。アナログモデムを使用した遠隔地へのデータ伝送方法である。本システムでは富士電機の通信制御用のアダプタ装置「MTCA」を採用した。PLC などと組み合わせることで柔軟なシステム構成を組むことができる装置である。親局と子局が１対１で通信を行う構成とすることで，従来の TM/TC にて見られた伝送の遅れを抑えている。中央基地を親局，坑井基地を子局とした構成である。

坑井基地の現場機器の状態は坑井基地の PLC に取り込まれ，富士電機の PLC ネットワーク「PE リンク」を介して MTCA に渡る。坑井基地の MTCA は，通信回線を経由して中央基地の MTCA に信号を送る。中央基地の MTCA は受信したデータを，坑井基地の統括管理用に設けた PLC に送る。この坑井基地統括管理 PLC は各坑井基地から送信されるデータを一括で管理する。中央基地のオペレータステーションは統括管理 PLC の情報により坑井基地の状態表示を行う。

4.4　IP-VPN による伝送

ガスパイプラインの監視用として，NTT コミュニケーションズ株式会社の IP-VPN を応用した監視システムを採用した。**図３**に IP-VPN 監視システム部の詳細を示す。パイプラインの監視機器は広域に分散されており，これらを接続するために私設線を新規に敷設するのはコストが膨大になる。これを最小化するため通信会社の専用通信回線サービスを採用した。サービスの中でも，広域の機器を一つの LAN 上の機器と同じように扱える IP-VPN を選択した。

図２　TM/TC 構成詳細



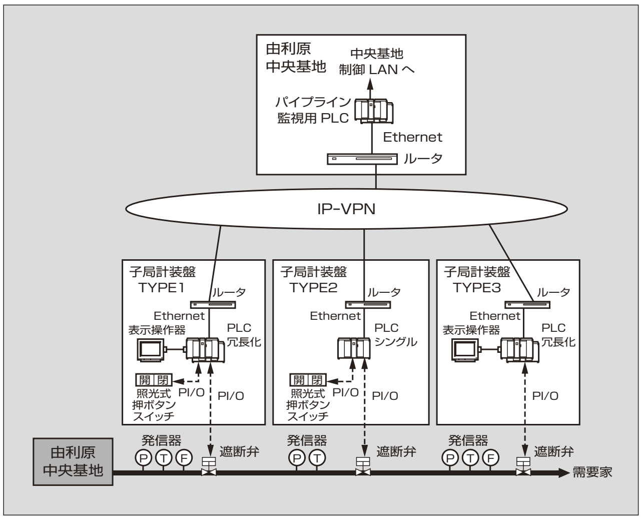
IP-VPN とは，通信事業者の保有する広域 IP 通信網を経由して構築される仮想私設通信網（VPN）のことである。鉱場内の Ethernet〈注〉回線を延長しパイプライン監視を行う

ような構成を実現した。

パイプライン上に分散設置した計装盤内に子局 PLC を設け，パイプラインの情報を収集する。このデータを子局 PLC は Ethernet 通信にてデータを送出する。データは IP-VPN を通して中央基地に伝送される。中央では，パイプライン監視用 PLC が親局となり，複数の子局のデータを受信する。これらのデータは親局 PLC にて加工した後，由利原鉱場内の制御 LAN 経由でオペレータステーションに表示される。なお，由利原鉱場では，中央基地内の制御 LAN の独立性を確保するため，IP-VPN の Ethernet とは直接接続しない構成とした。

〈注〉Ethernet：米国 Xerox Corp. の登録商標

図 3　IP-VPN システム構成詳細



IP-VPN によるネットワークの利点として，IP 電話を使用できることが挙げられる。本システムでも市販の IP 電話機を使用し，中央基地と子局間の通話を可能とした。これは，IP-VPN 回線を使用しているので，通話コストはかからない。ただし，IP 電話を使用することは，子局 PLC の通信に割込みをかけることになるため，中央基地でデータ欠損や，データのリフレッシュが遅くなるなどの影響が出る可能性がある。このため，納入時には，IP-VPN の通信速度を考慮し，IP 電話よりデータ通信を優先する設定とした。

4.5　Web 監視システム

由利原鉱場にてガスパイプラインの集中監視を行っている。これに加え，由利原鉱場より約 50 km 離れた秋田市内の秋田鉱業所および東京にある本社においても，由利原鉱場の送ガス状態を遠隔監視可能にするシステムとして Web 監視システムを採用した。**図 4** に詳細を示す。これは，より汎用性の高い機器を使い，手軽にかつ安価に構築できる遠隔監視システムである。

秋田鉱業所，および本社に設置したパソコンのブラウザ（インターネットエクスプローラなど）にて遠隔監視可能なシステムで，パソコン側に特別なプログラムを不要としている。**図 5** に示すように，秋田県由利原地区のガスパイプライン状況をグラフィック表示し，さらに圧力，温度などのトレンド表示も可能とした。

通常，このような機能は Web サーバという専用のサーバを設けて行うが，本システムでは PLC にて実現している。MICREX-SX にラインアップされる Web モジュールを実装することで実現できる。Web モジュールは

図 4　Web システム詳細

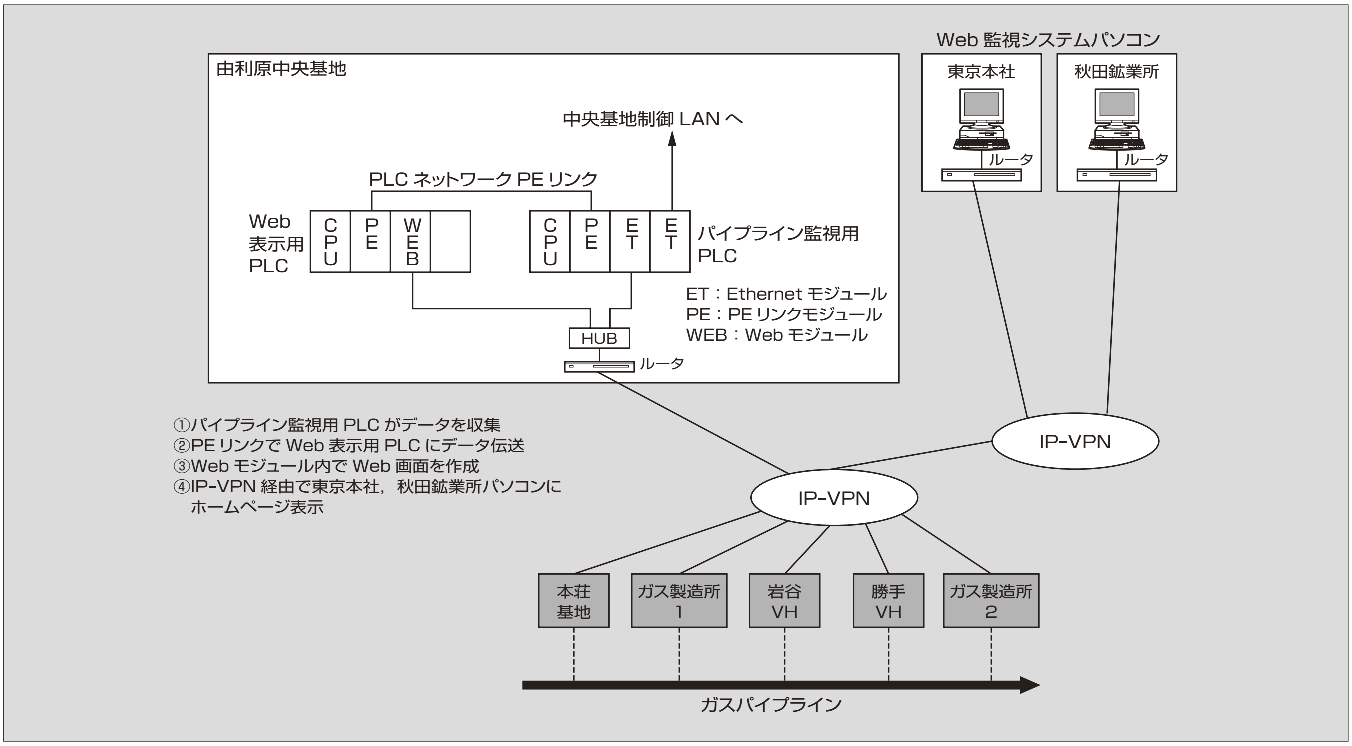
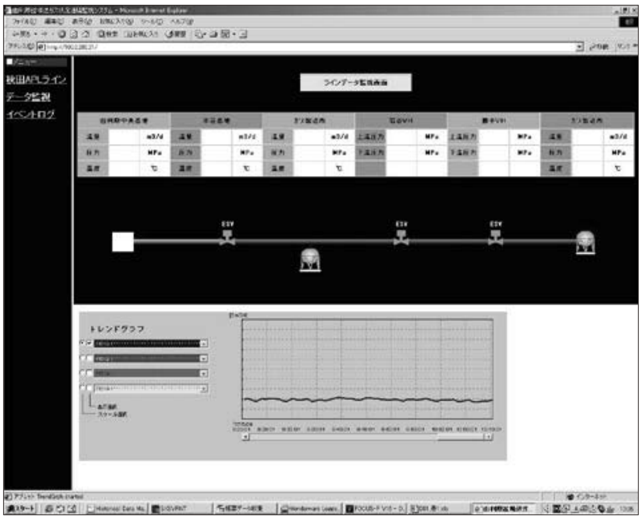


図 5　Web 画面例



10 BASE-T，100 BASE-TX の接続端子を持ち，由利原鉱場の IP-VPN に接続する。この IP-VPN 網に秋田鉱業所の監視パソコン，本社の監視パソコンを接続することで，インターネットでホームページを見るように送ガス監視状況を表示することができる。本システムでは使用していないが，遠隔からのデータ設定，機器操作も実現可能である。

4.6　IP-VPN 通信システムでの注意事項

IP-VPN を使用した遠隔監視システムを構築するに当たり注意した点を述べる。

(1)　通信異常の検出方法

通信回線の異常を確実に検出し，エラーデータによる誤動作を防ぐために，PLC にてリフレッシュカウンタを持たせる方法を採用した。これは，各 PLC に定周期でカウントアップするカウンタを持たせ，計測データに加えそのカウンタ値も通信相手に送る。通信相手はそのカウンタ値の状態を監視し，カウンタの数値が一定時間以上変わらない場合，データの送り手との通信回線異常，または送り手機器が故障していると判断することができる。

(2)　VPN の通信速度

子局側は，データ量が比較的少ないので，VPN の契約時に回線速度を遅いものにすることがあるが，中央側は全子局との通信を行うので速度を早いものにする必要がある。子局数，データ量から速度を検討することが必要となる。

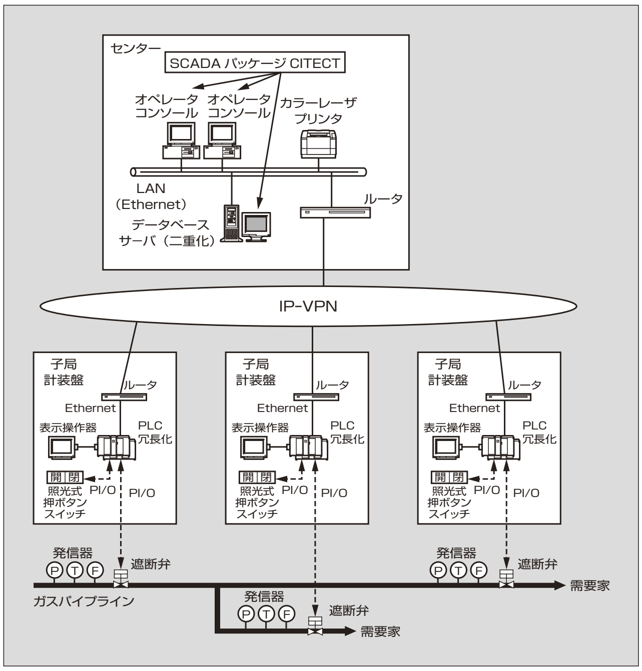
(3)　ネットワークアドレス設定

VPN は閉じたネットワークを構成するので，その中でのアドレス設定は基本的に自由である。しかし，ネットワーク全体の効率的な運用のためにサブネットワークの構成などを十分に検討することが重要である。これに伴い，IP-VPN 業者とも十分に打合せを行い，ネットワーク設定を決定する必要がある。

(4)　セキュリティ

今回納入のシステムは，IP-VPN に接続する機器はインターネット回線に接続しないことを前提としている。もし，インターネットに接続する場合，その機器を介して，IP-VPN 網にウィルスが侵入する可能性があるので，システム内のパソコンには最新のウィルス除去ソフトウェアを用いるなどの対策が必要である。

図 6　SCADA システム構成例



5　その他の遠隔監視システム

その他の富士電機の遠隔監視システムとして SCADA（Supervisory Control and Data Acquisition）を簡単に紹介する。

由利原鉱場の送ガス監視システムでは，中央基地の制御 LAN と IP-VPN との独立性を確保するため，中央監視パソコンと現場設置の子局 PLC は直接データの取合いをしない構成とした。これに対し，パソコンを直接 IP-VPN に接続し，遠隔の子局を直接監視するシステムも提供している。主に監視機能を中心としたシステムで，富士電機の SCADA パッケージ「CITECT」を応用した遠隔監視システムである。システム構成例を**図 6** に示す。中央監視室にパソコンまたはサーバを設置し，IP-VPN 経由で現場の子局 PLC と直接通信を行う。必要に応じ，サーバの二重化構成，バックアップサーバの設置も可能である。

6　あとがき

石油資源開発株式会社由利原鉱場に納入した遠隔監視システムを中心に紹介した。

今後もパソコンと PLC を用いた遠隔監視システムの開発をすすめ，より付加価値の高いシステムを提供していく所存である。

石油資源開発株式会社殿，エンジニアリングメーカー各社殿には多大なる協力をいただき，謝意を表する。

MICREX-SX と POD を核とする PLC 計装システム

中間　倫之（なかま　のりゆき）　　**野嶌　勝宏**（のじま　かつひろ）

1　まえがき

老朽化した計装設備の更新，プラントシステムの情報化による見える化の推進，また厳しさを増す経営環境の中での投資コストの削減を目的として，中小規模のシステム，あるいはDCS（Distributed Control System）によるメインプロセスと連携運転するサブプロセスの実現に，PLC計装の採用が増えている。

一方，PLCは制御規模の拡大，演算の高速化，高信頼性化，データ処理能力向上，オープンネットワーク対応などが進み，機械・設備のシーケンス制御のみならず，計装制御，監視制御など，さまざまな分野へ適用が拡大している。このような状況において，各社により計装分野向け商品が拡充されつつある。しかし，タグの統括管理など計装分野に必要なエンジニアリング機能は，DCSをベースとした商品よりも弱い面がある。

本稿では，汎用PLCである「MICREX-SX」と産業用タッチパネルであるプログラマブル操作表示器（POD）をベースとして，エンジニアリング強化を主な目的として開発した計装分野向け商品「SXかんたん計装システム[(1)]」を紹介する。

2　概　要

SXかんたん計装システムは，**図1**に示す生産システムの階層において，監視点数の少ない小規模システムへの適用を主に狙っている。

図2に示す大規模システムへのサブシステム追加・リプレース，**図3**に示すPLCと調節計で構成するシステムへの置換えなどが適用例である。

本システムの特徴を以下に示す。

(a)　MICREX-SXとPODにより，ループの制御，監視，調整，管理が可能なためパソコンなしでの完結したシステムを実現

(b)　上位に位置づけられる計装パッケージ「パートナーIT」の仕様を継承し，上位システムとの親和性を実現

(c)　多彩な制御を可能にする計装ファンクションブロック（FB）

(d)　飛躍的なエンジニアリング効率向上を実現する計器画面生成機能

図1　生産システム階層における位置付け

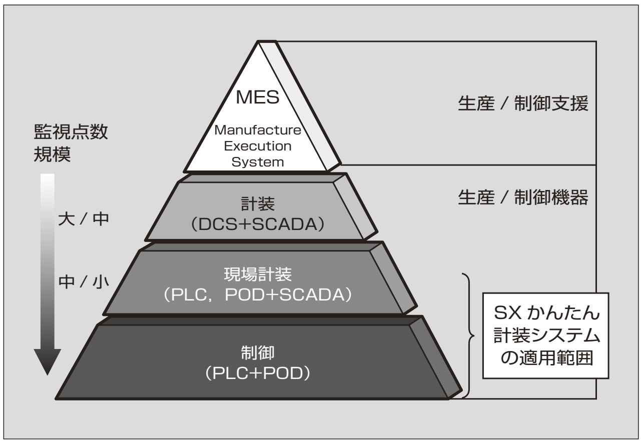
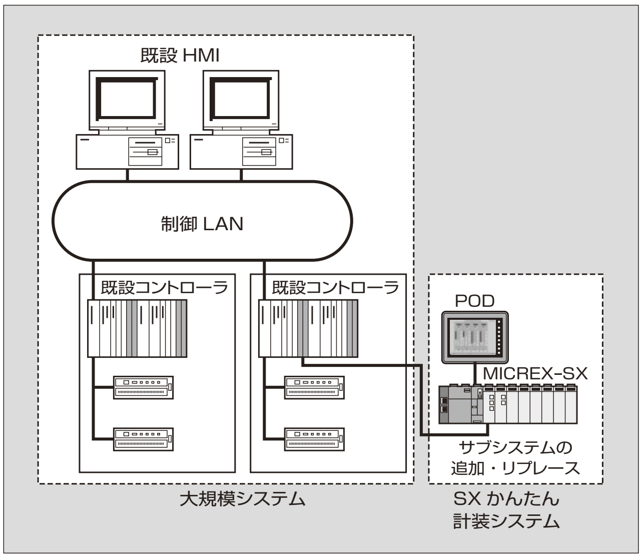


図2　大規模システムにおけるサブシステムの追加・リプレース



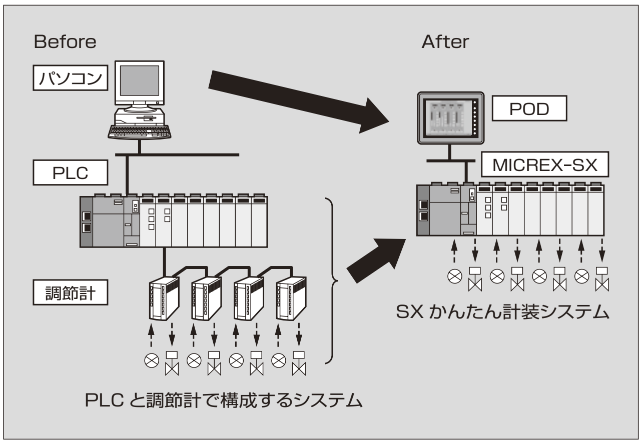
中間　倫之

プログラマブルコントローラの商品企画に従事。現在，富士電機機器制御株式会社生産本部システム事業部コントローラ開発センター営業技術部担当課長。

野嶌　勝宏

プログラマブルコントローラのアプリケーションソフトウェア設計業務に従事。現在，富士アイティ株式会社システム機器事業部機器制御システム部リーダー。

図 3　PLC ＋調節計の置換え



(e)　制御用途に応じて使い分けが可能な言語セット

(f)　MICREX-SX，POD の豊富な商品を用いて，フレキシブルなシステムを構築可能

3　「SX かんたん計装システム」の基本構成

SX かんたん計装システムの基本構成を**図 4** に示す。ループの制御・監視・調整・管理に加え，周辺設備の制御に必要なシーケンス制御，設備稼動状態の収集・処理に必要なデータ処理が可能である。

図 4 は，POD と MICREX-SX を Ethernet〈注 1〉で接続し，TCP/IP で通信する例であるが，ほかに MICREX-SX の専用バスである SX バス，オープンネットワークの FL-net，汎用通信など種々の接続が可能である。

POD は**図 4** に示すように計器画面のみならず汎用的なグラフィック画面が表示可能であり，専用のグラフィックエディタで画面を作成する。富士電機の POD は元来 FA 用途で開発されたものであり，耐環境性にも優れている。

4　上位システム仕様の継承

富士電機では，制御の規模・要求仕様に応じたさまざまな計装システム商品をラインアップしている。**図 5** にその一部を示す。

本稿で紹介する SX かんたん計装システムは，**図 5** に示すように，比較的に規模の小さいシステムをターゲットとしている。

SX かんたん計装システムは，上位システムに位置づけられる SCADA ＋ MICREX-SX の計装パッケージ（パートナー IT）の制御仕様，計器画面，操作性などの多くを継承している。**図 6** に SX かんたん計装システムとパートナー IT の計器画面例を示す。

このように，SX かんたん計装システムは，パートナー IT の計装パッケージを使ったシステムを構築した経験のあるエンジニアにも違和感なく扱えるものとなっている。

〈注 1〉Ethernet：米国 Xerox Corp. の登録商標

図 4　SX かんたん計装システムの基本構成

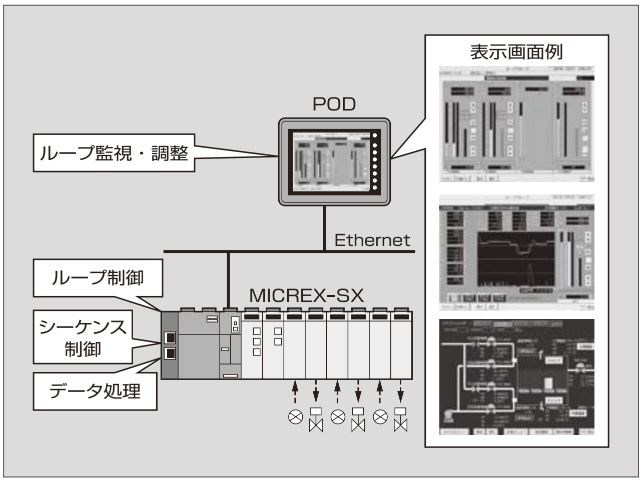


図 5　規模・仕様に応じた計装システムラインアップ

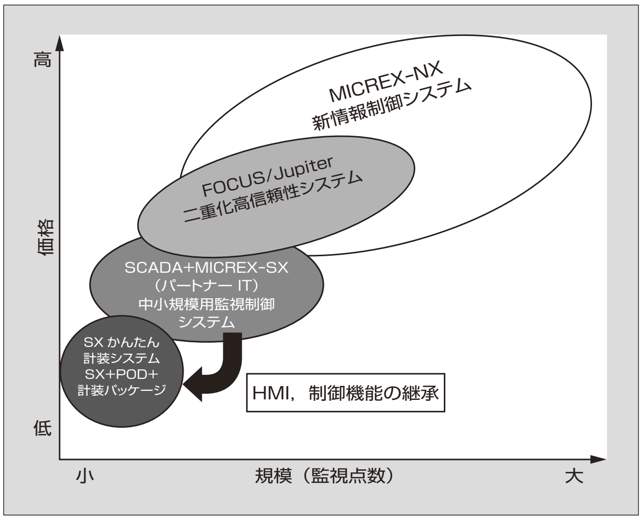
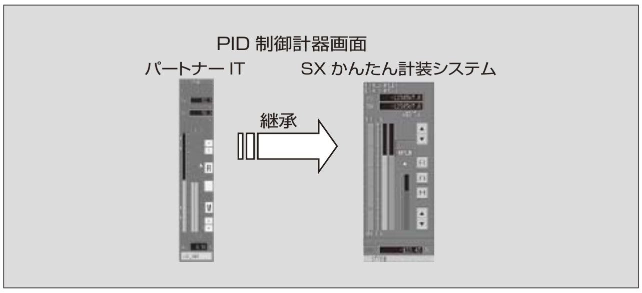


図 6　計器画面



また，SX かんたん計装システムは，主に小規模なシステムをターゲットにしているが，複数の MICREX-SX を使用し，統括パソコンなどとネットワーク接続することで計器のリモート監視や設定変更を必要とする分散型監視制御システムにも容易に対応可能である。

5　システム構成例

SX かんたん計装システムは，システムの規模に応じて柔軟にシステムを構築することができる。以下にシステム

構成例を示す。

5.1 現場完結システム

小規模プラントの監視制御，フロア単位の空調設備の温度管理など，小規模なシステムのユーザーニーズでは，現場においてライフサイクルの短いパソコンではなくライフサイクルの長い PLC によるシステム構築が行え，省スペース，低コストであることが重要である。前述の**図 4** は現場完結のシステム構成例である。

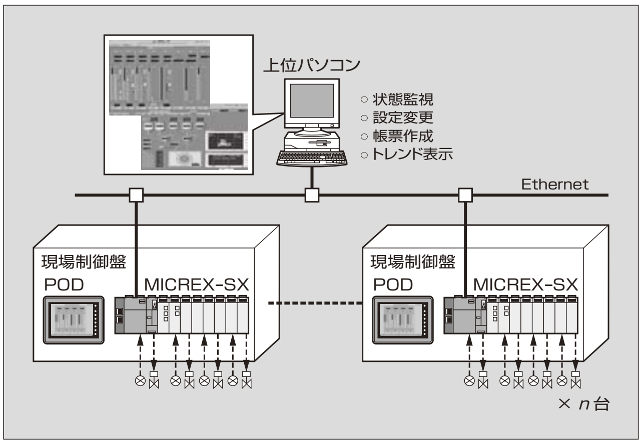
5.2 分散型監視制御システム

制御単位，エリア単位に設置されたそれぞれの制御盤で独立した運転が可能であるが，MICREX-SX のネットワーク機能を活用し，上位システムと連携することにより，各制御盤の状態監視，制御設定の変更，帳票作成，トレンド機能を持たせた分散型監視制御システムを容易に構築可能である。**図 7** にシステム構成例を示す。

6 計装ファンクションブロック（FB）

計装 FB は，ループ制御を行う計器 FB と，計器 FB と組み合わせて用いる入力処理 FB とで構成する。本システムで用意されている計装 FB を**図 8** に示す。

図 7　分散型監視制御システム



また，計器 FB の PID パラメータなどを保持するファイル構造は，SX かんたん計装システムとパートナー IT で共通であり，両システムの間で制御処理の連携が容易になっている。

7 計器画面生成機能

7.1 計器画面生成の流れ[2]

SX かんたん計装システムでは，計装 FB を活用して開発した MICREX-SX の制御プログラムから，各計器 FB のタグ設定，またグループ設定をすることにより，POD で表示・動作可能な画面データファイルを自動で生成することが可能である。従来は，計器画面をその都度作成していたが，自動で生成できることから，作成工数を大幅に削減可能である。

計器画面生成の簡単な手順を**図 9** に示す。

(a)　計装 FB を用いて MICREX-SX のプログラミングツールである「Expert」でプログラミングし，MICREX-SX に転送する。

(b)　Expert にアドインされる HMI 連携ツールで各計器のタグナンバー，タグ名称，スケールなどの設定，計器のグループ設定を行い，画面定義ファイルを生成す

図 8　SX かんたん計装システムの計装 FB

入力処理 FB

34	_piCAL5
35	_piCAL6
36	_piCAL7
37	_piCAL8
38	_piCAL9
39	_piPGPID
40	_piMAV2
41	_piM_M
42	_piDRL
43	_piDRL2
44	_piABS
45	_piL_L
46	_piLED
47	_piHMS
48	_piLMS
49	_piDMS
50	_piONEP
51	_piHALM
52	_piLALM
53	_piHLAM
54	_piHLCH
55	_piSVMD
56	_piMVMD
57	_piJUT1
58	_piSMPH
59	_piGAP
60	_piMId
61	_piAVE
62	_piINT
63	_piANMR

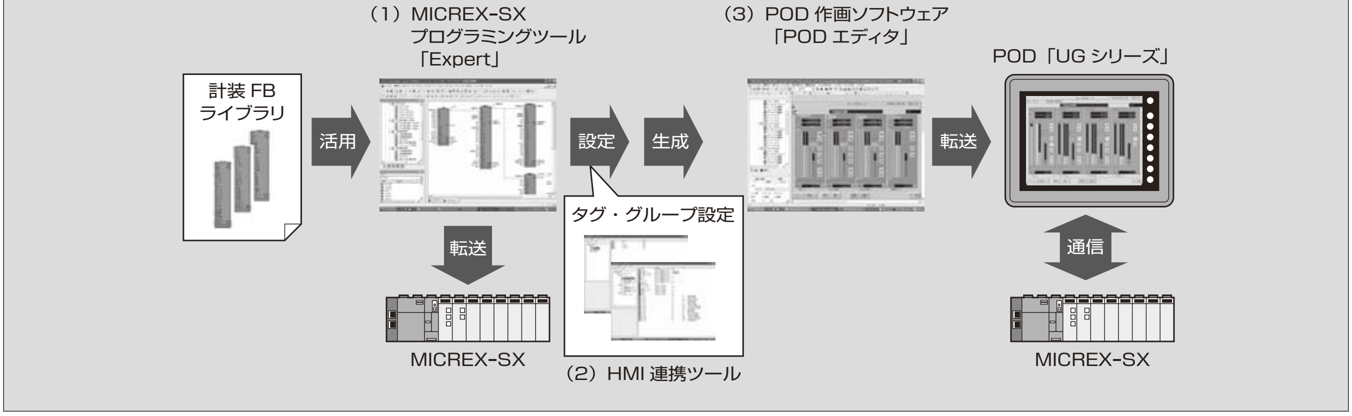
入力処理 FB

1	_piMAV
2	_piHSLCT
3	_piLSLCT
4	_piLIMT
5	_piAVRG
6	_piLNR1
7	_piLNR2
8	_piROOT
9	_piDET1
10	_piDET2
11	_piDET3
12	_piDET4
13	_piTPCM1
14	_piTPCM2
15	_piPRSL
16	_piPRS
17	_piTHS
18	_piTWS
19	_piLAG
20	_piRAMP1
21	_piRAMP2
22	_piMUL
23	_piDIV
24	_piADDE
25	_piSUBE
26	_piMLAD
27	_piMLSB
28	_piDVAD
29	_piDVSB
30	_piCAL1
31	_piCAL2
32	_piCAL3
33	_piCAL4

計器 FB(FB+FP)

1	_piPID	PID 制御位置形出力
2	_piPIDV	PID 制御速度形出力
3	_piALRM	指示警報
4	_piRF	比率演算
5	_piPGCS	プログラム設定（連続，秒）
6	_piPGCM	プログラム設定（連続，分）
7	_piPGSS	プログラム設定（断続，秒）
8	_piPGSM	プログラム設定（断続，分）
9	_piESUMA	アナログ積算
10	_piESUMP	パルス積算
11	_piONOFF	2 位置 ON/OFF 制御
12	_piMAN	位置形手動操作器
13	_piMPO	速度形手動操作器
14	_piBCMA	バッチカウンタ（アナログ用）
15	_piBCMP	バッチカウンタ（パルス用）
16	_piAICON	アナログ入力
17	_piBCDN	BCD 積算
18	_piTMSUM	運転時間積算
19	_piDISUM	運転回数積算
20	_piPOWF	力率指示
21	_piMODE	MAN/AUT/REM 設定
22	_piPPO	パルス幅出力モジュール
23	_piSPI	サンプル PI 制御
24	_pi2PID	2 自由度形 PID 制御
25	_pi2PID2	2 自由度形 PID 制御（時間比例出力）
26	_piBLDPI	ブレンド PI 制御
27	_piIPID	測定値比例微分先行形 PID 制御
28	_piMOV_3S	電動操作器（3 位置ステータス）
29	_piSET	手動設定器
30	_piPID1	時間比例 1 出力形調節
31	_piPID2	時間比例 2 出力形調節
32	_pi3ONOFF	3 位置 ON/OFF 制御
33	_piSEL	ループセレクタ制御

図 9　計器画面の流れ



る。

(c)　(b)の画面定義ファイルを POD の作画ソフトウェアである POD エディタで開くと，計器フェースプレート（FP）の画面への配置，MICREX-SX と通信するための変数名の設定が自動で行われ，画面データファイルが完成する。個々に入力を行っていた PLC と通信するためのアドレス設定が自動化され，POD に転送した画面データファイルは MICREX-SX と通信が可能な状態に設定される。

自動生成した画面例を**図10**に示す。

7.2　計器画面自動生成の効果

従来，POD 画面に表示する計器画面は，PLC アドレスやグローバル変数を事前に Expert 上で定義し，それらを POD エディタの編集画面で配置したグラフなど，個々の表示対象について，アドレスや変数名を入力する方式だった。この作業は，すべて手作業となり画面上で使用するパーツが多いほど，すなわち計器数が増えるほど多くの時間を必要とした。また，入力ミスによるトラブルで，デバッグ時間の増大も招いた。

しかし，SX かんたん計装システムの計器画面生成機能では，アドレス設定および計器画面の配置を自動化しているため作画時間が大幅に軽減されるほか，入力ミスによるトラブルの不安も解消される。

この結果，従来の方式に比べて，**図11**に示すように画面作成に要する時間が大幅に削減された。

8　処理に応じた言語セット

MICERX-SX は PLC プログラミング言語の国際規格である IEC61131-3 に準拠しており，処理内容に応じた言語を混在しながら使い分けることができる。

例えば，**図12**のように，ループ制御には FBD（Function Block Diagram）言語，バッチ処理には SFC（Sequential Flow Chart），シーケンス制御には LD（Ladder Diagram）言語，レシピデータ処理，稼動記録などのデータ処理には ST（Structured Text）言語など，処理に応じた言語を選択する。

システムの構築に適した言語を兼ね備え，かつ単一のプログラミングツールで混在させてプログラミングできることから制御処理の統合も容易である。

図 10　自動生成画面一覧

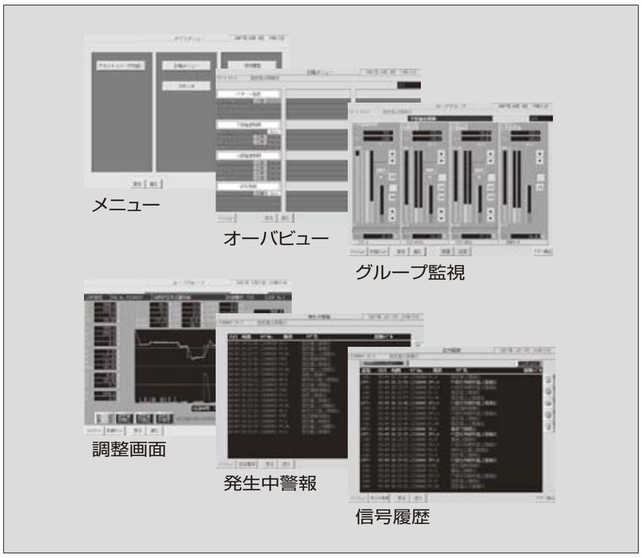


図 11　計器画面自動生成の効果

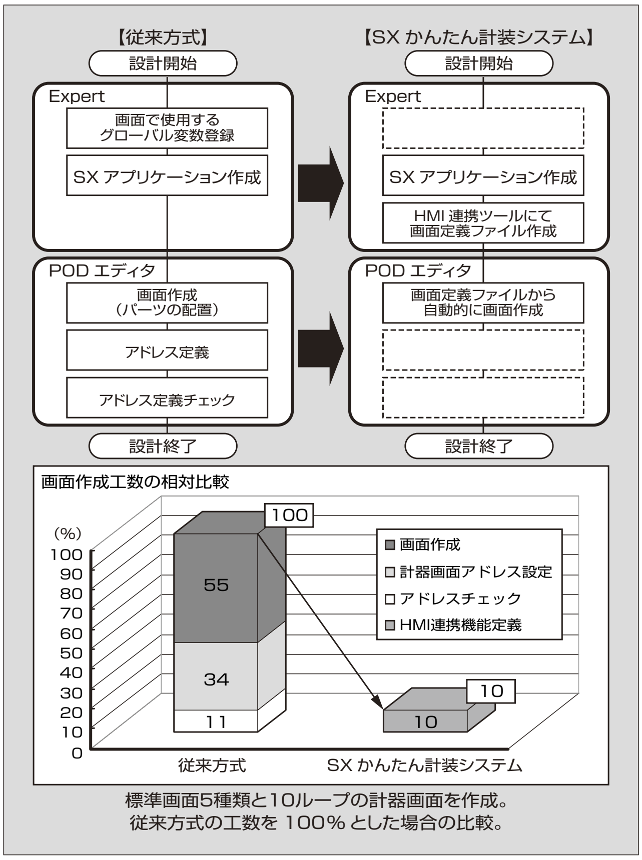


図 12　処理に応じた言語の使い分け

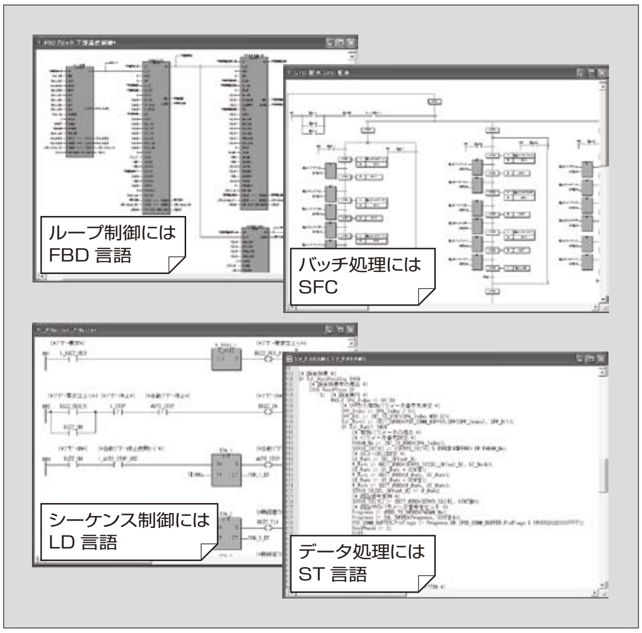
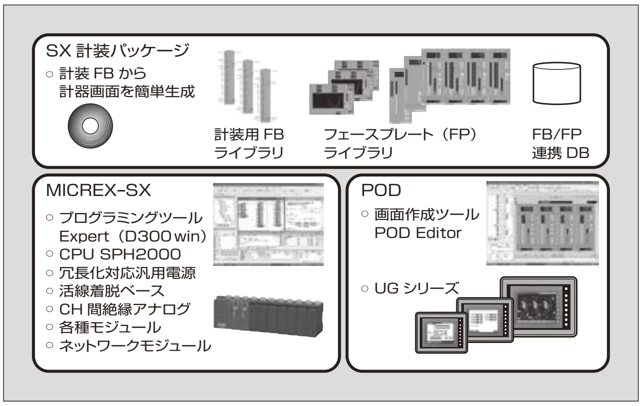


図 13　SX かんたん計装システムの商品構成



9 「SX かんたん計装システム」の商品構成

SX かんたん計装システムは，汎用品としての MICREX-SX，POD と，SX 計装パッケージで構成する。図 13 にその概要を示す。

また，MICREX-SX では，高信頼性システム構築に適した冗長化対応電源モジュール，活線着脱対応ベースボード，チャネル間絶縁アナログモジュール，測温抵抗体・熱電対入力モジュール，ディストリビュータ対応モジュール，流量パルス計測に対応したモジュールなど，計装システムに最適なモジュールが用意されている。

10 あとがき

今日，計装システムに限らず多くの生産システムにおいて，見える化を活用したさらなる生産効率の向上が求められている。

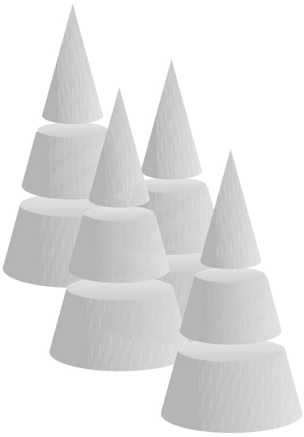
「SX かんたん計装システム」は小規模な下位システムに位置づけられるが，プラントの制御に加え，上位の生産システムへのタイムリーで有益な情報発信を期待されている。

今後も，上位システムとの連携を考慮した機能，エンジニアリング機能の使い勝手向上，計装関連の品ぞろえの強化を図っていく所存である。

参考文献

(1)　伊藤広治ほか．PLC・POD を適用した「SX かんたん計装システム」．富士時報．vol.80, no.5, 2007, p.364-369.

(2)　中間倫之．計装システム構築の効率化．計測技術．2007-10.



インテリジェント端末による現場情報収集システムとそれを活用したハイレベル管理

相馬　寛（そうま　ひろし）　荻山　泰（おぎやま　やすし）　町田　善信（まちだ　よしのぶ）

1 まえがき

日本経済は，バブルの崩壊から立ち直り，安定成長期に入ったといえるが，今後，少子高齢化社会，原油・原材料の高騰など，厳しい環境に置かれることが予測される。

このような環境下で，持続的経済発展を実現するために，コンピュータ技術，ネットワーク技術，組込み技術の活用により，いつでも，どこでも，誰（人，物，機械）とでも通信を行い，情報を共有できるユビキタス化により国際競争力を高める必要に迫られている。

富士電機は，FA（Factory Automation）/PA（Process Automation）分野での豊富な実績を基に，以下をコンセプトとしたユビキタス計測システムを実現している。

(a)　生産現場で発生する情報をリアルタイムに収集し，さらに企業内のより広範囲な情報を組み合わせることでハイレベルな管理（高度な見える化）を実現する。

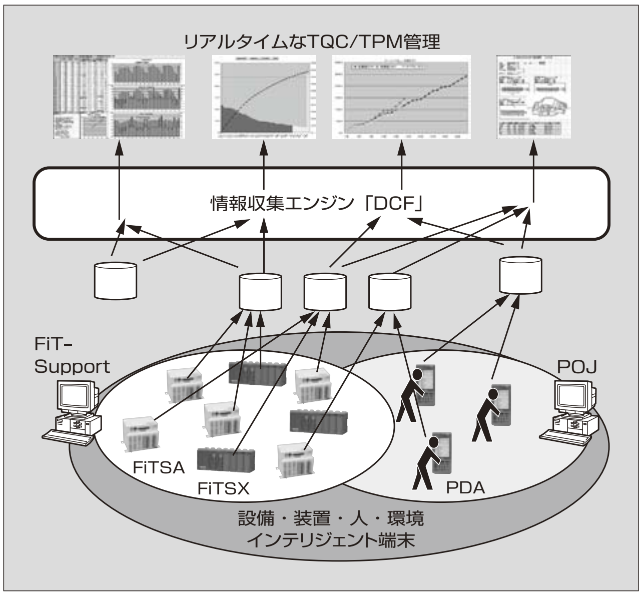
(b)　全社一体の品質向上活動（TQC）・生産効率向上活動（TPM）を支援するため，工場運営にかかわる各階層ごとに必要な情報を“いつでも，どこでも，誰にでも”活用を可能とする。

(c)　強力な支援機能を提供することで，ユーザーエンジニアリングを可能とする。

2 全体構成

図 1 に富士電機が提供するユビキタス計測システムの全体構成を示す。インテリジェント端末を現場に配置することで，装置や設備，人，環境を一体とするアーキテクチャを採用している。端末自身が，現場から必要なタイミングで必要なデータを収集し，意味のある情報に編集し，接続された管理システムに格納する。主にセンサ，計測機器，ID リーダを接続し，現場情報収集を行うエンベデッド系情報収集装置「FiTSA」，制御機能に加え情報収集機能を持たせた PLC 系情報収集装置「FiTSX」を情報収集端末として現場側に配置している。FiTSA，FiTSX の動作ロジック，各種ライブラリは，エンジニアリングツール「FiT-Support」で一元管理して共有化し，必要時に配布する。動作ロジックは，表記述のミドルウェアである「eSC マトリックス」にて定義できる。

図 1　ユビキタス計測システムの全体構成



人との情報の授受は，作業者情報システム「POJ（Point Of Job）」配下の携帯情報端末（PDA）を介して行われる。情報収集エンジン「DCF（Data Collection Frame-work）」は，情報収集端末により収集されたデータや散在する他システムのデータベースにあるデータをユーザー自身で Excel シート上に集める仕組みである。

3 システムを構成するハードウェアとソフトウェア

ユビキタス計測システムを構成するインテリジェントな現場情報収集端末，そのミドルウェア，エンジニアリングツールと収集した現場情報を有効活用するための業務支援ツールを個別に紹介する。

相馬　寛

鉄鋼プロコン構築業務に従事後，加工組立て企業向け MES 提案技術部業務・営業業務に従事。現在，富士アイティ株式会社システム機器事業部営業技術部担当部長。

荻山　泰

PLC 応用システム，監視制御システムのソフトウェア設計業務に従事。現在，富士アイティ株式会社システム機器事業部機器制御システム部マネージャー。

町田　善信

PLC 応用システム，監視制御システム，組込み機器システムの開発企画業務に従事。現在，富士アイティ株式会社営業推進本部企画部マネージャー。

3.1　エンベデッド系情報収集装置「FiTSA」

図 2 に示す FiTSA は，組込み Linux〈注 1〉と μITRON〈注 2〉を搭載したハイブリッド OS に，Ethernet〈注 3〉，RS-232C，RS-485，アナログ入力，デジタル入出力，コンパクトフラッシュ〈注 4〉（CF）カードインタフェースを実装したデータ収集装置であり，各種センサ，計測機器，制御装置などが接続できる。実装する I/O の種類により，4 タイプを用意している。耐環境性は，PLC と同等（使用環境 0 ～ 60 ℃）とし，工場現場環境への設置を可能とした。Linux を採用することで，個別アプリケーション開発，標準ソフトウェア開発，周辺システム連携などが容易となった。また，eSC マトリックスエンジンを搭載することで表形式の定義で動作ロジック（シナリオ）を記述できる。その他，各種装置用ドライバ，FOMA〈注 5〉インタフェースなどの標準ソフトウェアを用意している

3.2　PLC 系情報収集装置「FiTSX」

図 3 に示す FiTSX は，統合コントローラ「MICREX-SX」に eSC マトリックスエンジンを搭載した MES 機能拡張 PLC である。装置制御，ライン制御などの制御機能は PLC 言語で記述し，実績データ収集，上位システム連携などの製造現場管理の共通機能は，eSC マトリックスで記述できる。

また，多数（現状 33 種類）の計器ファンクションブロック（FB）のほか，表示端末 POD 用計器パネル画面，トレンド画面，帳票画面，データ保存機能を装備した計装機能を拡張したタイプも提供している。

3.3　動作ロジック記述機能「eSC マトリックス」

FiTSA，FiTSX の動作ロジック（シナリオ）は，**図 4** に示す eSC マトリックスで記述できる。eSC マトリックスは，工程歩進（状態遷移）と各工程におけるアクションを表形式にて記述する。各工程およびその状態でのアクションとして，実装されたデジタル出力，メモリ出力のほか，計測器や上位システムとの通信ライブラリなどの関数を指定できる。また，工程の遷移条件として，実装されたデジタル入力，アナログ入力，呼出関数の戻り値が使用できる。これにより，装置やラインの動きに同期し，データ収集を行い上位システムへ実績通知することなどの処理を

〈注 1〉Linux：Linus Torvalds の米国およびその他の国における登録商標または商標

〈注 2〉ITRON：特定の商品ないしは商品群を指す名称ではない

〈注 3〉Ethernet：米国 Xerox Corp. の登録商標

〈注 4〉コンパクトフラッシュ：サンディスク社の登録商標

〈注 5〉FOMA：株式会社 NTT ドコモの登録商標

図 2　エンベデッド系情報収集装置「FiTSA」

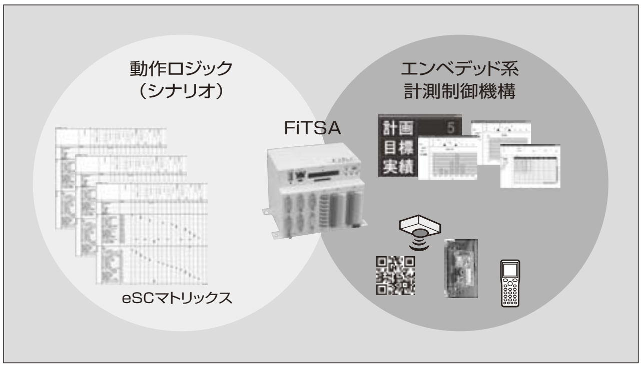


図 3　PLC 系情報収集装置「FiTSX」

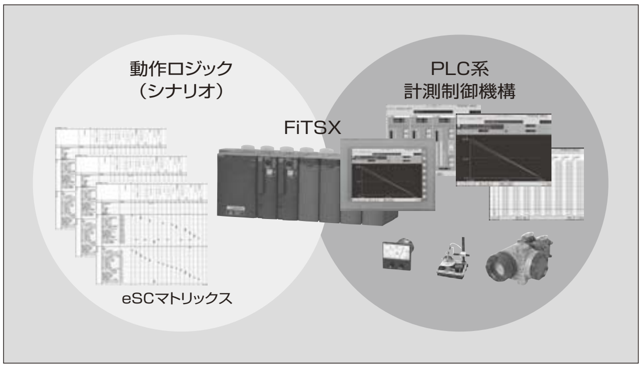
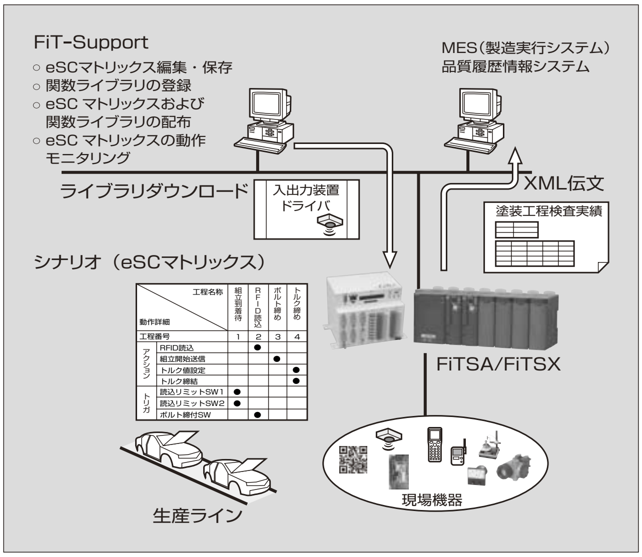


図 4　動作ロジック記述機能「eSC マトリックス」

工程 ＼ イベント・処理		工程名		電子天秤オープン		リトライ待機	上位通信オープン	電子天秤呼込
		工程 No.		1	1	2	3	4
	工程保証時間（秒）							
	ジャンプ			3	2	1		6
	WDT 検知（秒）							
	WDT 解除		設定					
	強制移行タイマ（秒）							
アクション	電子天秤と通信オープン	SCMopenSerialPort	設定	●				
	電子天秤からデータ読込	SCMcomReadWord	設定					●
	上位システムデータ送信	SCMchgWordToStr	設定					
	電子天秤読込完了通知	SCMsetDataBit	設定					
移行条件	OR							
	電子天秤通信オープン正常完了	LBi_1	設定	●				
	電子天秤通信オープン異常完了	LBi_2	設定		●			

図 5　エンジニアリングツール「FiT-Support」



プログラムを作成することなく実現できる。例えば，検査装置からの完了信号を受信したタイミングで検査結果データを取り込み，上位の管理システムへ通知する一連の動きに合わせた情報収集ロジックを表形式にて定義できる。eSC マトリックスは，FiTSA，FiTSX 相互で共通利用でき，FiT-Support から XML の形式で配布され，それぞれの配布先にて実行される。

3.4　エンジニアリングツール「FiT-Support」

図 5 に示す FiT-Support は，ネットワークに接続された FiTSA，FiTSX に対する共通のエンジニアリングツールであり，以下の機能を持つ。

(a)　eSC マトリックスの編集・保存
(b)　eSC マトリックスで使用する関数ライブラリの登録
(c)　eSC マトリックスおよび関数ライブラリの配布
(d)　eSC マトリックスの動作モニタリング

これにより，FiTSA および FiTSX で動作する eSC マトリックスやライブラリなどのソフトウェア資産の再利用が図れる。

3.5　作業者情報システム「POJ」

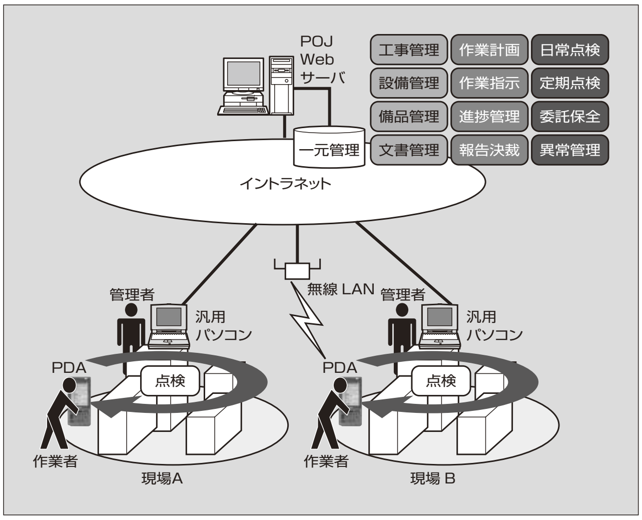
図 6 に示す POJ は，人の作業を追跡することにより，人，物（設備・備品），作業，文書を相互に連携し，生産設備の安定稼動・稼動率向上の実現を目的としている。既存のイントラネットやパソコンを活用でき，部門導入から段階的な複数事業所群の一元管理までのシステムを構築できる。

PDA のオンライン機能を強化し，サーバ側から無線 LAN 経由で作業指示を PDA に通知可能とし，双方向のリアルタイムな情報のやりとりを実現している。また，監視システムが検知した警報イベントを PDA へ通知することで，ルーチンワークおよび異常への早期対応などの作業の効率化が図れる。

POJ の特長を以下に示す。

(a)　Web アプリケーションによる，既存情報資産の活用
(b)　PDA による無線 LAN を用いたオンライン機能の提供
(c)　PDA の入力内容を編集する幅広い支援機能の提供
(d)　作業データの報告を軽減するワークフローを搭載
(e)　設備－作業－文書連携で現場の情報化を推進

図 6　作業者情報システム「POJ」



3.6　情報収集エンジン「DCF」

工場内では，報告書や管理帳票などに Excel〈注 6〉が広く使われている。**図 7** に示す DCF（Data Collection Framework）は，工場内のさまざまなデータソースから Excel シート上にデータを収集する仕組みを提供する。DCF は，次の手順で利用できる。

(1)　手順 1：データソースへのアクセス方法定義

データソースへのアクセス方法と“メソッド”の対応づけをメソッドツリーエディタで行う。データソースがリレーショナルデータベースであれば，メソッドと SQL 文との対応づけを行う。対応づけられたメソッドは，ネットワーク上で共有し，クライアント側の Excel で利用できる。データソースとしては，このほか，XML ファイル，画像ファイルが扱える。

(2)　手順 2：Excel 上での展開

メソッドツリーエディタで定義されたメソッドを Excel の関数と同様に Excel シートにはり付ける。メソッドのパラメータには，入力値のほか，Excel のセルの値が使用できる。

〈注 6〉Excel：米国 Microsoft Corp. の登録商標

図 7　情報収集エンジン「DCF」

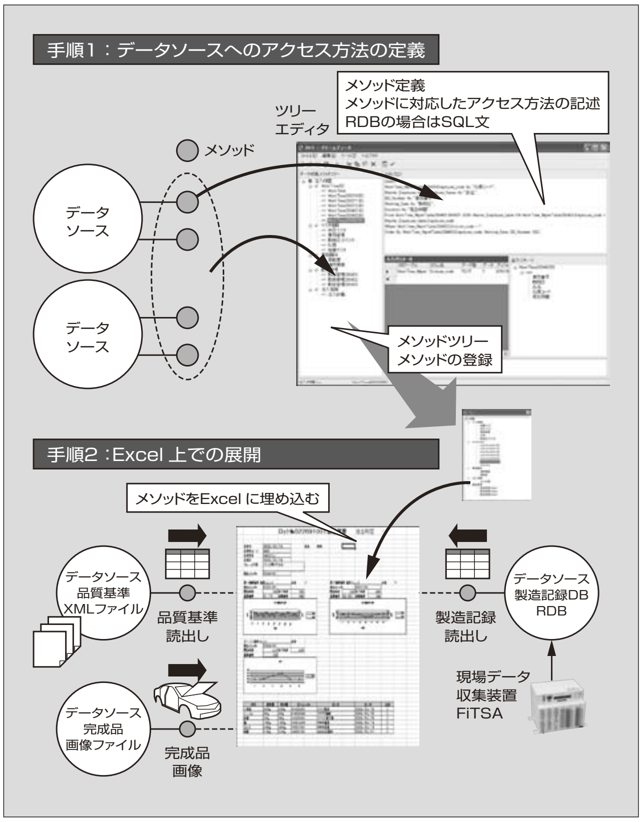
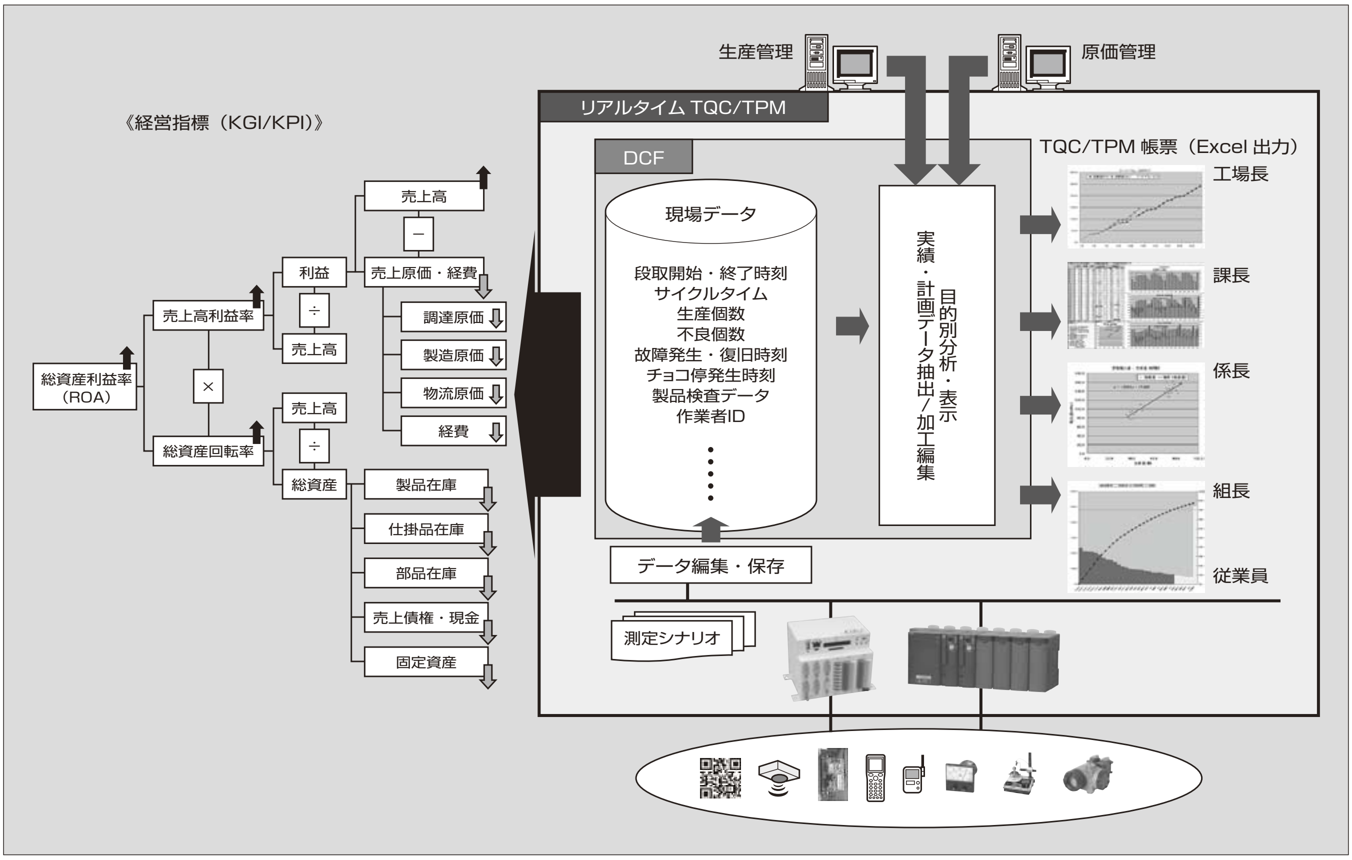


図 8　リアルタイム TQC/TPM の構成



4　応用例「リアルタイム TQC/TPM」

生産現場では，品質・生産効率向上のために，日々懸命な活動が行われている。これらを推進するためには，企業内に散在している膨大なデータから必要な情報を抽出し，傾向分析，対策立案を行うことが必要である。しかしながら，多くの企業では，膨大なデータを集計することに労力を費やしているといえよう。富士電機は，これまでに述べた各種製品を組み合わせて，“いつでも，どこでも，誰にでも”をコンセプトに工場経営にかかわる必要情報の収集，傾向分析，管理帳票出力をリアルタイムに実現する「リアルタイム TQC/TPM」を提供している。これにより，企業の TQC/TPM 活動のリアルタイム化を図り，KGI（Key Goal Indicator：経営目標達成指標）/KPI（Key Performance Indicator：業績評価指標）の向上を実現し，企業体質・企業競争力の強化を支援している。**図 8** にリアルタイム TQC/TPM の構成を示す。

ここでは，ROA（Return On Asset）向上を目的に図に示す経営指標を工場長，課長など各層の KGI/KPI としてブレークダウンと数値目標化し，収集した情報をもとに指標をリアルタイムで算出・評価し，公開している。この仕組みにより，全従業員が工場全体の状況を把握でき，課題の抽出，行動分析を行い，日々の業務の改善に役立てることを想定している。

5　あとがき

コンピュータおよびネットワーク技術の発展により，ユビキタス“いつでも，どこでも，誰にでも（誰とでも）”指向は，ますます浸透していくことと考えられる。

製造現場においては，不良品の市場流出を防止するための品質向上活動や生産効率を極限まで高めるための日々の活動が推進されていく。

本稿で紹介した商品群は，コンピュータ・ネットワーク技術，組込み技術を駆使し，生産現場活動をリアルタイムに支援するソリューションであり，一層の需要が予想される。

今後とも，適用ユーザーの要望を積極的に取り入れ，高機能・高性能商品への強化を続けていく所存である。

特集

新型差圧・圧力発信器「FCX-AⅢシリーズ」

木代　雅巳（きしろ　まさみ）　　　但田　憲彦（ただた　のりひこ）

1　まえがき

ユニークなマイクロキャパシタンス シリコンセンサ（小型静電容量式シリコンセンサ）を搭載した，圧力発信器「FCX シリーズ」は，1989 年の発売以来[1]，1995 年には「FCX-A/C シリーズ[2]」，2000 年には「FCX-AⅡシリーズ[3]」へと発展してきた。この間，FCX シリーズは世界中のプラントで 100 万台が稼動し，高い評価を得てきた。このたび，さらなる性能改良と小型軽量化を実現した，「FCX-AⅢシリーズ」圧力発信器を開発した。FCX-AⅢシリーズ圧力発信器の外観を**図 1** に示す。

2　特　徴

FCX-AⅢシリーズ圧力発信器の特徴は以下のとおりである。

(1)　長期安定性の向上

センサ信号の SN 比を改善することにより，長期安定性 ± 0.1%/5 年を実現した。

(2)　小型軽量化

センサハウジングと本体の直結溶接技術の確立および小口径シールダイアフラムの開発により，差圧計質量で従来比 70% の 3.1 kg を実現した。

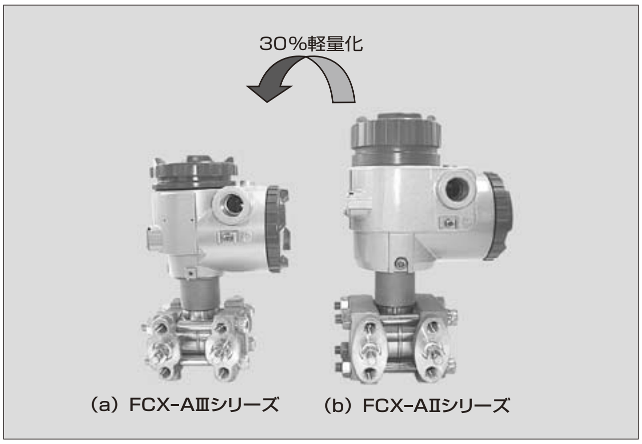
(3)　高速応答

エレクトロニクスユニットの電源電圧を下げることにより，消費電力を増加させることなく，高速演算を可能にした。その結果，従来比 50% となる計測値更新周期 60 ms を実現した。

(4)　現場調整機能の充実（3 プッシュボタン）

ハンドヘルドコミュニケータ（HHC）なしの現場調整機能を実現するために，発信器に搭載した三つのボタンを使用して現場にて設定・調整ができるようにした 3 プッシュボタン付を表示ユニットを開発し，オプション指定できるようにした。

図 1　FCX-AⅢシリーズ圧力発信器の外観



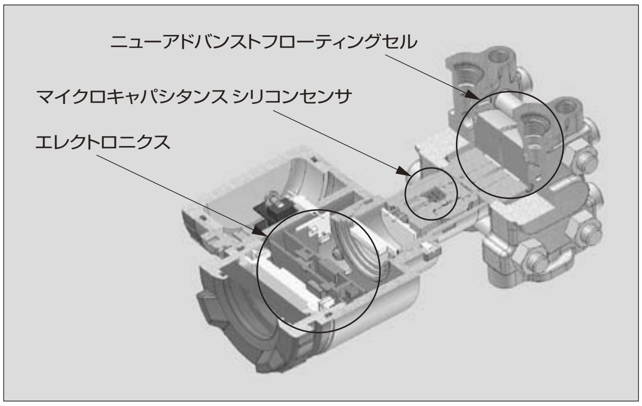
3　構　造

FCX-AⅢシリーズ差圧発信器の内部構造を**図 2** に示す。静電容量式センサ，セルユニットおよびエレクトロニクスユニットで構成されている。

3.1　マイクロキャパシタンス シリコンセンサ

FCX-AⅢシリーズ差圧発信器のセンサ構造を**図 3** に示す。センサの中央に配置されたシリコンダイアフラム（可動電極）の両側に対向して静電容量測定電極（固定電極）

図 2　FCX-AⅢシリーズ差圧発信器の内部構造



木代　雅巳

フィールド機器の開発・設計に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部 PIA 統括部計測機器技術第一部主任。計測自動制御学会会員。

但田　憲彦

発信器 FCX-AⅢの開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社PIA 統括部計測機器技術第一部。

が二対配置された構造となっている。センサに導入された圧力は，単結晶シリコンのダイアフラムを変形させる。その変位量は差圧に比例し，かつ差動的な静電容量 C_1，C_2 を基に高精度に検出できる[(2)]。よって，静電容量 C_1，C_2 を測定して次式[(4)]に従って差圧に比例したセンサ信号 F を求めることができる。

$$F=\frac{(C_1-C_2)}{(C_1+C_2-2C_S)} \quad \cdots\cdots (1)$$

このセンサは，単結晶シリコンの優れた性質を生かし，弾性ヒステリシスが小さい[(5)]。また，センタディスクを有する測定ダイアフラムは，静電ギャップを形成する固定電極に対して平行を保ちながら変位するため，直線性がよく複雑な直線性演算が不要である。

今回，長期安定性の向上を目的にセンサの SN 比改善を実施した。静電容量式圧力センサにおいては，前述のように測定ダイアフラムと固定電極とが形成する静電容量が圧力変化に伴い変化する。理想的なセンサにおいては，センサ信号は，ダイアフラムと固定電極間に形成された静電容量のみであるが，現実のセンサにはそれ以外の静電容量，つまり配線パターンなどが形成する静電容量（浮遊容量）が含まれてしまう。センサ構造を見直すことにより，この浮遊容量を極小化し，かつ高圧側と低圧側との浮遊容量の差も小さくした。その結果，± 0.1%/5 年の長期安定性を実現した。

3. 2　センサユニット

センサユニットを小型軽量化するために，センサハウジングと受圧部との直結構造と，シールダイアフラムの小口径化を実現した。

センサユニットの基本構造としては，FCX シリーズ以来，継続して採用され[(1)]，実績が豊富なアドバンストフローティングセル構造を継承した。ただし，従来のアドバンストフローティングセル構造では，センサハウジングと受圧部本体とをパイプを介して溶接していたため，小型化するうえでこのパイプの長さが障害となっていた。そこで，今回の開発では，このパイプをなくし，センサハウジングと受圧部本体とを直結する構造を考案し，その溶接技術も確立した。**図 4** に今回開発したニューアドバンストフローティングセル構造を示す。

また，シールダイアフラムの形状については，有限要素法による数値解析法を使用した設計を行い，センサユニットの小型化にもかかわらず，圧力伝達特性を損なわない最適な波形ダイアフラムを実現した。

センサハウジングの直結構造およびシールダイアフラムの小口径化によって，従来比で 30% の小型軽量化を実現した。

3. 3　エレクトロニクスユニット

エレクトロニクスユニットを含む電子回路の構成図を**図 5** に示す。圧力はセンサで静電容量になり，ASIC でパルスに変換され，ゲートアレイにて計数されてデジタル値になり，CPU にて演算される。近年は高速な応答が要求されるため，電源電圧を下げることにより高速演算を低消費電力で実現した。具体的には CPU，ゲートアレイを含

図 3　FCX-AⅢシリーズ差圧発信器のセンサ構造

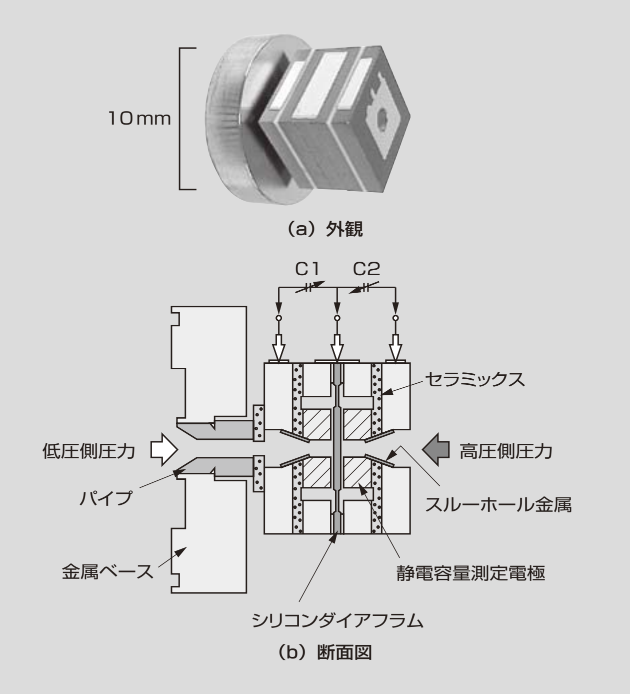


図 4　ニューアドバンストフローティングセル構造

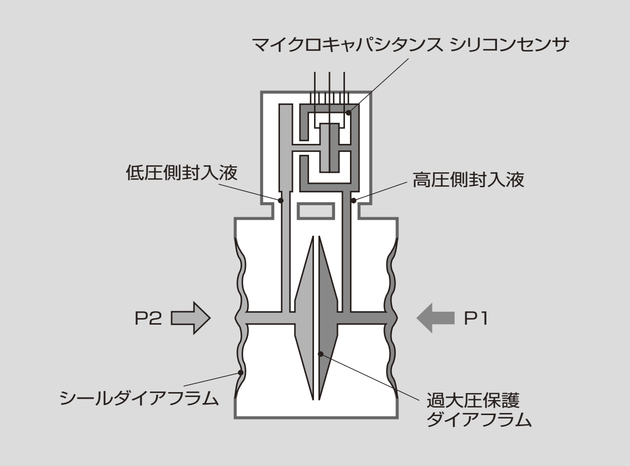
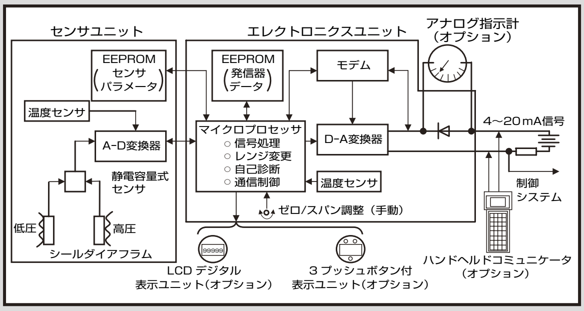


図 5　電子回路の構成図



特集

図6 FCX-AⅢシリーズのステップ応答特性

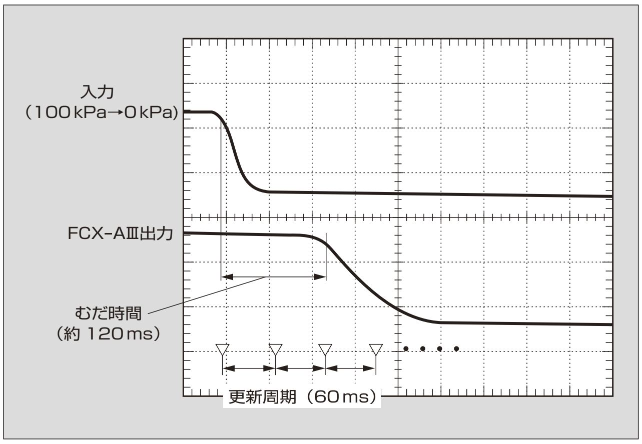
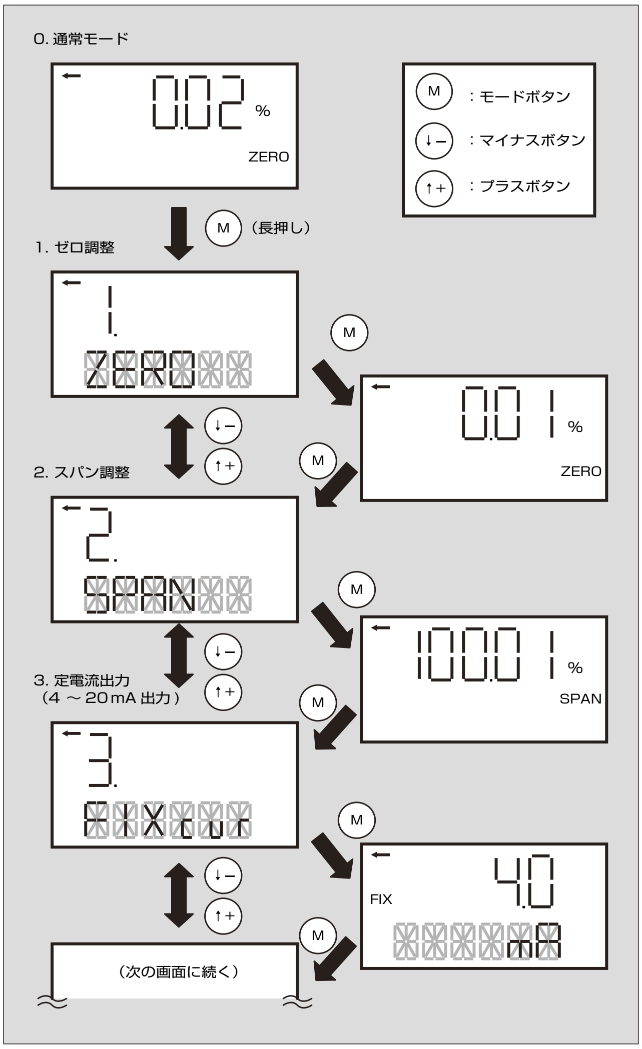


図7 3プッシュボタン付表示ユニットの画面遷移例



むデジタル回路部の電源電圧を下げ，CPU内部の動作クロックを従来の2倍に上げ演算を高速化した。また，ゲートアレイにおけるパルス計数時間は，消費電力を抑えるためにクロックを上げずに，クロックのエッジの立上り・立下りを検出するよう回路を工夫した。これにより，従来と同じクロック周波数で，従来の半分の計数時間にて，同じ分解能を得ることに成功した。この結果，計測値更新周期60ms，むだ時間120msという従来比2倍の高速応答を実現した。FCX-AⅢシリーズのステップ応答特性を**図6**に示す。

通信機能としては，富士プロトコル通信とHART通信を標準装備し，ファウンデーション・フィールドバス（FF），プロフィバスに対応した機種もラインアップしている。FFはファンクションブロック（FB）を拡充し，AI×2点（圧力，温度），PID制御，IT（積算），AR（演算機能），SI（入力切換），SC（折れ線補正）とフィールド機器としてはフルラインアップを搭載した。また，リンクマスターを搭載し，DCSなどのマスターがダウンした際に代わりを務めることにより，システムの安全性向上を図れる仕様となっている。

一方で，上記のようなデジタル通信を用いなくても，主な機能の設定や調整が簡単に手早くできる3プッシュボタン付きの表示ユニットをオプションで用意した。従来機のオプション仕様であったローカル調整機能付きの表示ユニットでは，ダンピングの設定，ゼロ調整，スパン調整，電流出力の校正，圧力・流量の出力切換といった基本的な機能の設定，調整に限定されていた。新しい3プッシュボタンでは，メニュー方式により，デジタル通信を利用したHHCと同等の機能の設定，調整が，発信器本体のみで可能となり，発信器本体での現場調整機能がさらに拡充した。**図7**に3プッシュボタン付表示ユニットの画面遷移例を示す。

4 主な仕様

表1にFCX-AⅢシリーズ差圧・圧力発信器の主な仕様を示す。

アンプケースは，従来機種の標準アンプケースであったL形に加えて，T形も用意した。T形ケースは，海外ユーザーから要求のある形状であり，水平配管工事に対して，指示計を横から見ることができる利点がある。

圧力計および絶対圧計については，ねじ込み式のダイレクトマウント型も用意した。

5 特 性

FCX-AⅢシリーズ差圧発信器の代表的特性を，**図8**および**図9**に示す。**図8**は，最大スパン130kPaの差圧計の設定レンジ（0～130kPa）と，その1/10スパンの設定レンジ（0～13kPa）の場合の変換特性（入出力特性）を示す。マイクロキャパシタンスセンサは，ターンダウン（設定レンジを小さくする）しても良好な直線性を維持できる。

図9は，ゼロ点出力の長期安定性を示す。センサのSN比改善の効果により，ゼロ点出力は時間経過に対して極めて安定である。

特集

表 1　FCX-AⅢシリーズ差圧・圧力発信器の主な仕様

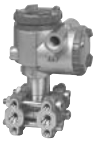
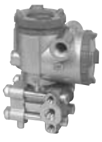
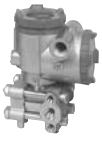
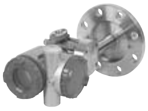
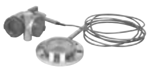
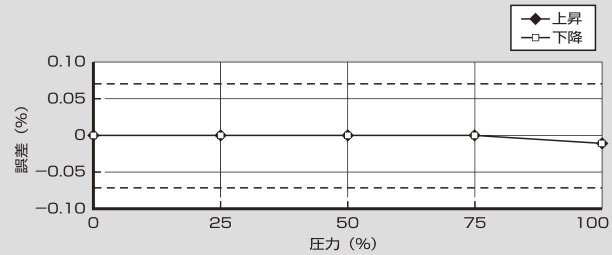
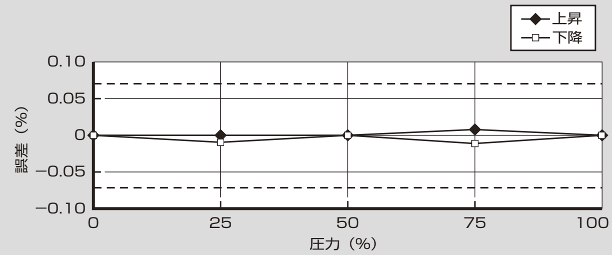
機　種	差圧計	圧力計	絶対圧計	レベル計	リモートシール形差圧計	リモートシール形圧力計	ダイレクトマウント形圧力計	ダイレクトマウント形絶対圧計
								
形　式	FKC	FKG	FKA	FKE，FKY	FKD，FKX	FKB，FKW	FKP	FKH
最大スパン（kPa）	1 6 32 130 500 3,000	130 500 3,000 10,000 50,000	16 130 500 3,000	32 130 500	32 130 500	130 500 3,000 10,000 50,000	130 500 3,000 10,000	130 500 3,000
質　量（kg）	3.1	2.9	2.9	約9〜19	約9〜19	約4〜18	2.2	2.2
精度定格（%）	±0.07		±0.2	FKE：±0.2 FKY：±0.25	FKD：±0.2 FKX：±0.25	FKB：±0.2 FKW：±0.25	±0.1	±0.2
出力信号	DC4〜20 mA または電気フィールドバス信号							
通信機能	富士プロトコルおよびHARTプロトコル							
ダイアフラム材質	SUS316L ハステロイC モネル タンタル SUS316L＋金メッキ 金&セラミックスコーティング		SUS316L ハステロイC モネル タンタル	SUS316L ハステロイC モネル タンタル チタン ジルコニウム SUS316L＋金メッキ			SUS316L	
プロセス接続口	Rc1/4またはNPT1/4			各種フランジ規格			Rc1/4, Rc1/2, NPT1/4, NPT1/2	

図 8　FCX-AⅢシリーズ差圧発信器の変換特性

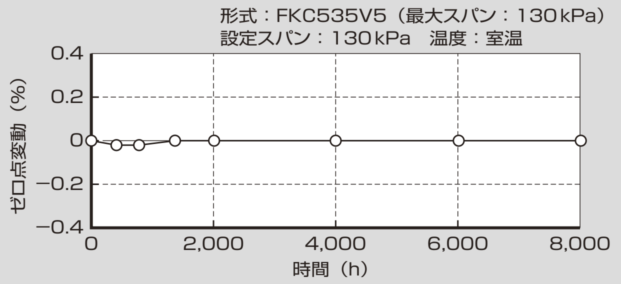


（a）最大スパン（設定レンジ：0〜130 kPa）



（b）1/10 スパン（設定レンジ：0〜13 kPa）

図 9　FCX-AⅢシリーズ差圧発信器の長期安定性



6　あとがき

新開発の FCX-AⅢシリーズ圧力発信器の概要について紹介した。

FCX-AⅢシリーズ発信器が世界中の市場に浸透するに従って，新たな要望が出てくるものと思われる。今後もこれらの要望に応えながら，機種・機能の拡充を図り，さらなる改良を推進する所存である。

参考文献

(1)　玉井満．新世代発信器 FCX シリーズの開発．富士時報．vol.62, no.9, 1989, p.578-582.

(2)　中村公弘，湯原忠徳．新世代電子式発信器「FCX-A/C シリーズ」．富士時報．vol.68, no.9, 1995, p.493-496.

(3)　中村公弘，井上芳範．新型差圧・圧力発信器「FCX-AⅡシリーズ」．富士時報．vol.73, no.10, 2000, p.533-536.

(4)　安原毅ほか．富士全電子式 FC シリーズ発信器．富士時報．vol.52, no.2, 1979, p.113-122.

(5)　松本佳宣，江刺正喜．絶対圧用集積化容量形圧力センサ．電子情報通信学会誌C-Ⅱ．vol.J75-C-Ⅱ, no.8, 1992, p.451-461.

新型可搬型超音波流量計「ポータフロー C」

特集

矢尾　博信（やお　ひろのぶ）　　山田　和行（やまだ　かずゆき）

1 まえがき

可搬型の超音波流量計は，配管を切断したり，配管に穴を開けたりすることなく，既設配管の外壁にセンサを取り付けることにより管内の流量を測定することができる。

富士電機の従来の可搬型超音波流量計「ポータフロー X」は発売以来，十数年の実績があり，超音波流量計の上記特徴を生かし流量テスタとして国内外で多くの実績を積み重ねてきた。最新のエレクトロニクス技術とデジタル信号処理技術を駆使して，従来品に対しさらに小型，軽量，使い勝手の向上，機能アップを行い，デザインも一新した新型可搬型超音波流量計「ポータフロー C」を開発した。

2 ポータフロー C

2.1 測定原理

ポータフロー C は測定原理として，流速を計測する伝搬時間差法と，管内流速分布を測定するパルスドップラー法を使用している。それぞれの原理図を**図 1**，**図 2** に示す。

(1)　伝搬時間差法

一対のトランスデューサ間で測定流体を斜めに横切るように超音波パルスを往復させ，双方向の伝搬時間と伝搬時間差から流量を計測する。

$$Q = (\pi D^2/4)(1/k)\{c/(2\sin\theta)\}\{\Delta t/(t_0-\tau)\} \quad \cdots\cdots (1)$$

Q：体積流量

D：配管内径

k：平均流速の換算係数　c：測定流体の音速

θ：測定流体への入射角　Δt：伝搬時間差

t_0：静水時の伝搬時間

τ：配管およびトランスデューサ内の伝搬時間

である。

(2)　パルスドップラー法

流体中の気泡やパーティクルなどの反射体が流体と同じ速度で移動すると仮定し，反射体の移動速度から流速分布を測定する。一つのトランスデューサから測定流体中へ斜めに超音波を送信し，反射体からのエコー波を同一のトランスデューサで受信する。伝搬経路を微小分割し，各微小領域を通過する反射体からのエコーのドップラーシフト（周波数変化）を複数回の送受信により計測し，各部の移動速度から流速分布を求める。

$$Q = \iint v(x)\,dS \quad \cdots\cdots (2)$$

$$v(x) = \{c/(2\sin\theta)\}\{f_d(x)/f_0\} \quad \cdots\cdots (3)$$

$$x = ct/2 \quad \cdots\cdots (4)$$

$v(x)$：位置 x における流速

S：断面

$f_d(x)$：位置 x におけるドップラーシフト

図 1　伝搬時間差法

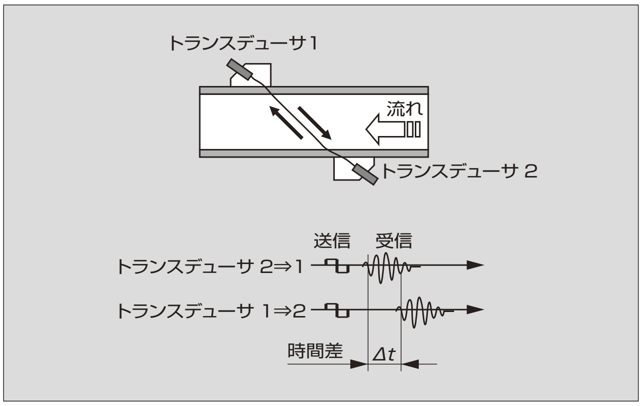
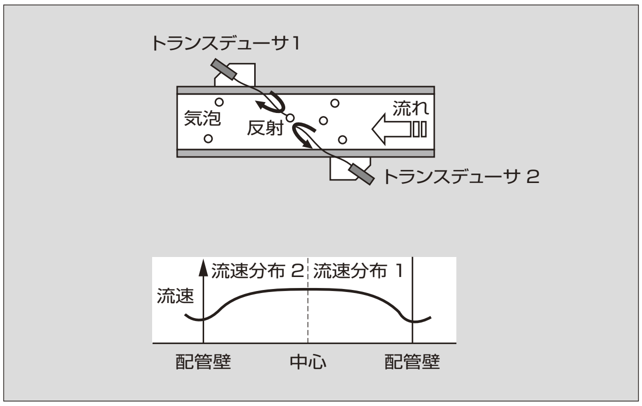
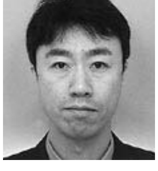


図 2　パルスドップラー法



矢尾　博信

フィールド機器，特に流量計・発信器の設計・開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部 PIA 統括部計測機器技術第一部課長。計測自動制御学会会員。



山田　和行

フィールド機器，特に流量計の設計・開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部 PIA 統括部計測機器技術第一部。

f_0：基本励振周波数

t：トランスデューサと位置 x 間の超音波パルスの往復時間

その他の記号は式(1)と同じである。

2.2 主な仕様と特徴

ポータフロー C の主な仕様を**表 1** に示す。

変換器と小型センサの外観を**図 3** と**図 4** に示す。

(1) 小型，軽量

最新のエレクトロニクス技術とデジタル信号処理技術により，従来品に対して変換器の大きさを 30％，質量を 35％削減した。

(2) 高精度，高速応答

精度は，±1.0% of Rate（流速 2 m/s 以上）の高精度である。音速が不明な液体へ適用でき，さらに温度，圧力の影響を受けない。

応答速度は高速 32 ビットマイクロプロセッサの採用により 1 秒以下である。

(3) 長時間バッテリー駆動

内蔵のリチウムイオン電池により，約 12 時間の連続動作が可能である（条件：伝搬時間差法，LCD バックライト消灯）。電池の充電は付属の電源アダプタにより 3 時間の急速充電ができる。

(4) カラー LCD

表示部はバックライト付きのカラー LCD で，バックライトを点灯することにより，暗い場所でも使用できる。また直射日光下の屋外でも視認性がよく，バックライトを消灯して使用できる。

(5) SD カード

オプションで 256 M バイトのメモリカードが添付され CSV データとして Excel で 65,500 行分を 1 ファイルとして 15 ファイルのデータ書込みが可能である。測定データの CSV 形式での保存や画面のハードコピーの保存が可能となり，パソコンとの連携が容易となった。最大 8 G バイトまでの SD カードを使用できる。

(6) グラフィックプリンタ

変換器にプリンタを一体構造として装着することが可能

表 1　ポータフローCの主な仕様

項　目	仕　様
測定対象	超音波が通る均一な液体
流体温度	−40～+200℃
測定範囲	0～±32 m/s（最小±0.3 m/s）：伝搬時間差法
適用配管材料	PVC，PVDF，PEEK，ポリプロピレン，アルミ FRP，鋼，ステンレス，銅，鋳鉄，ほか
適用配管口径	13～6,000 mm
ライニング材質	なし，タールエポキシ，モルタル，ゴム，テフロン，パイレックスガラス
精度	±1.0% of rate（口径，流速による）
外形	120（W）×65（D）×210（H）（mm）（変換器）
質量	約1 kg（変換器）
内蔵バッテリー	連続動作約12時間
外被形式	IP64（変換器）
LCD 表示	カラー320×240（pixel）
出力信号	4～20 mA（1点）
入力信号	4～20 mA（2点）または1～5 V（1点）
通信	USB（DEVICE）
ロガー容量	SDカード（オプション256 Mバイト）
流速分布モニタ	パルスドップラーモード
厚み計	変換器内蔵

図 4　小型センサの外観

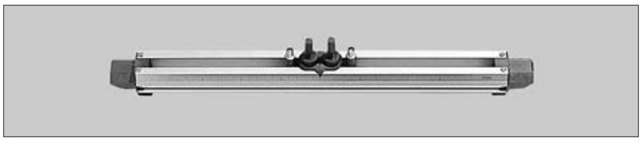


図 3　変換器の外観

図 5　プリンタ付き変換器の外観

で，**図 5** にプリンタ付き変換器の外観を示す。表示画面のハードコピーやトレンドグラフをプリントアウトすることができ，測定現場での記録やメモとして有用である。

(7)　外被構造

変換器は IP64（ただし，プリンタ付きは除く）の防水構造とし耐環境性の向上を図った（従来機は IP50 の防じん型）。

2.3　新しい機能

(1)　流速分布測定

パルスドップラー法により流速分布をリアルタイムに測定し配管内の流れの状態を監視することができ，測定位置の適正判断などに使用できる。

(2)　消費熱量演算機能

冷暖房などの液体の熱媒体において，送り側の熱媒体の温度と返り側の熱媒体の温度を入力し（温度変換器からの電流入力または設定画面からの一定値の入力），その流量を測定して演算することにより，授受される熱量の測定ができる。

(3)　厚さ測定

配管の外から専用の厚みセンサ（オプション）を用いて配管厚みを測定することができ，測定結果は配管パラメータに反映することが可能である。肉厚が不明な配管での測定時に有用である。

(4)　USB 通信機能

付属の USB ケーブルでパソコンに容易に接続することができ，USB のデバイス機器として動作する。SD カードに保存したロギングデータや画面ハードコピーのパソコンへの取込み，専用パソコンローダソフトウェアによるパラメータの設定などができる。

(5)　データロギング機能

測定データは SD カード（256 M バイト）に蓄えられ，1 分間隔で計測した場合，2 年分のデータを記憶することができる。

計測画面上のクイックロガーキー（**図 6**）により，ロギングの詳細設定することなしに測定状態でのロギングのスタート，ストップが可能であり，急な計測値変化に対してのデータ取得に威力を発揮する。

3　ユーザーインタフェース

変換器の前面は 11 個のキーと大型カラー LCD で構成され，LCD 画面は，流量，流速，積算を表示する**図 6** の計測画面がメインで，その中には，アラーム情報，SD

図 6　ポータフロー C 本体の計測画面

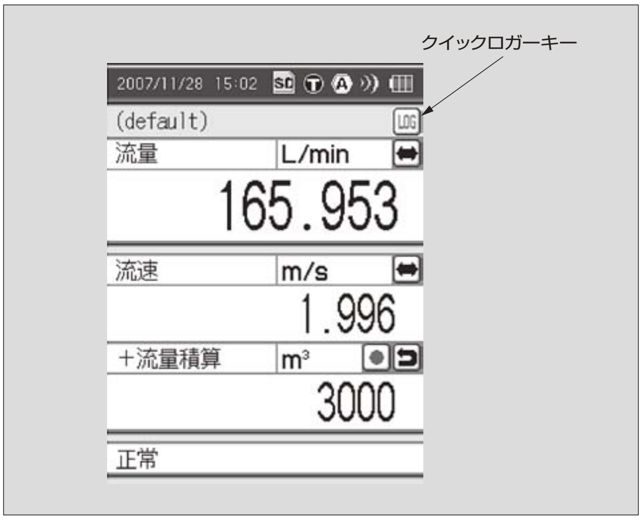


図 7　ポータフロー C 本体のメニュー画面

図 8　ポータフロー C 本体のロガーデータ画面

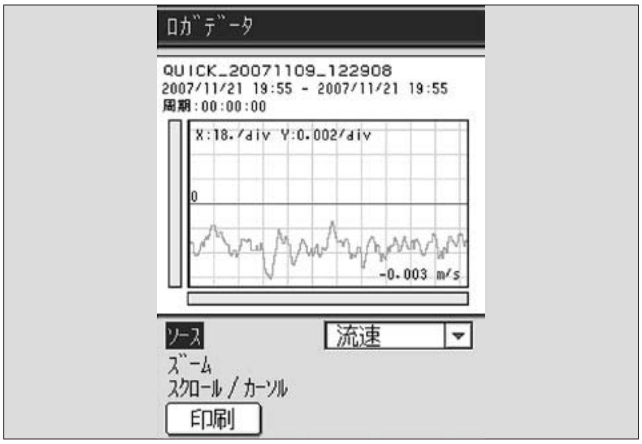


図 9　流速分布画面

図 10　超音波信号の受信波形

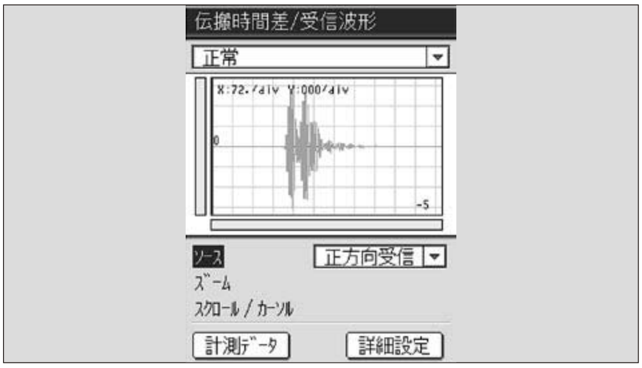
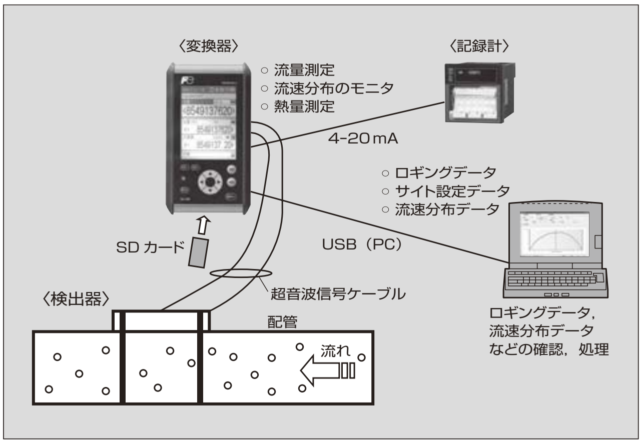


図 11　システム構成図



カードの状態表示，日付，バッテリーの残量などが表示されている。

MENU キーを押すことにより**図 7** のメニュー画面が表示される。メニュー画面からロガーデータ表示（**図 8**），流速分布表示（**図 9**），厚さ計表示，プリンタ出力，各種設定画面の選択が容易にできる。メンテナンスモードとして超音波信号の受信波形（**図10**）が表示される。

4　パソコンローダソフトウェア

図11にシステム構成例を示す。その中で，パソコンのUSB ポートを利用して，製品に添付したパソコンローダソフトウェアにより，メニュー画面，計測画面（**図12**），流速分布画面が表示できる。

また，サイト設定（**図13**），出力設定などの設定項目もパソコンのキー操作で容易に設定変更できる。メンテナンスモードでは，超音波信号の受信波形をモニターすることにより，計測が正常に行える状態にセンサが取り付けられていることが確認できる。このようにパソコンローダソフトウェアを使用することによりパソコンでのデータ管理が容易になる。

5　あとがき

新型可搬型超音波流量計「ポータフロー C」は小型化，高機能化するとともに，ユーザーインタフェースの操作性の向上により，より使いやすいものになった。また，流速分布をリアルタイムに見ることが可能となり，設備診断や機器のメンテナンスツールとして適用範囲の拡大が期待される。

今後，さらに幅広い分野に適用できるようユーザーのご意見・ご要望を取り入れて超音波流量計の高機能化，操作性向上に努めていく所存である。

図 12　パソコンの計測画面

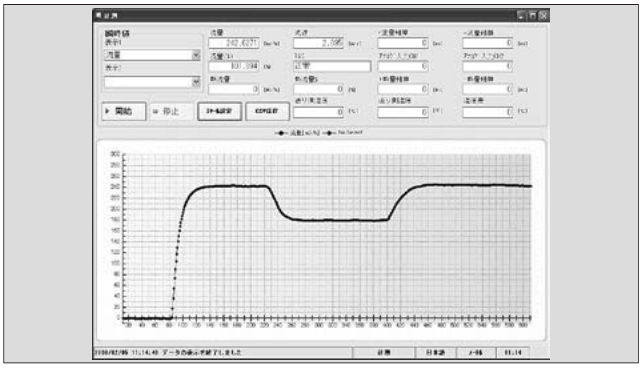


図 13　パソコンのサイト設定画面

参考文献

(1)　山本俊広．可搬形超音波流量計「ポータフロー X」．富士時報．vol.68, no.9, 1995, p.497-500.

(2)　山本俊広ほか．新形超音波流量計「NEW TIME DELTA シリーズ」．富士時報．vol.73, no,10, 2000, p.537-541.

(3)　矢尾博信ほか．ハイブリッド超音波流量計．富士時報．vol.77, no.6, 2004, p.432-435.

(4)　Takeda, Y. Velocity profile measurement by ultrasound Doppler shift method,Int. J. HEAT & Fluid Flow. vol.17, no.4, 1986, p.313-318.

(5)　Mori, M. et al. Development of a novel flow metering system using ultrasonic velocity profile measurement, Exp Fluids, 32 2002. p.153-160.

(6)　矢尾博信．ハイブリッド超音波流量計と適用事例．計測技術．vol.35, no.10, 2007, p.52-55.

マルチループ・モジュール型調節計「PUM」

小西　英之（こにし　ひでゆき）　　安藤　淳（あんどう　じゅん）　　河合 富貴子（かわい　ふきこ）

1　まえがき

近年のデジタル機器の大幅な成長の要因として，半導体の微細化とフラットパネルディスプレイ（FPD）技術の進歩が挙げられる。これら最先端デバイスの製造工程における温度制御については，高精度であることはもちろんのこと，生産効率の向上を目的とした大規模（多ゾーン）化とタクトタイム短縮化への対応が重要となっている。また，リフロー炉，プラスチック成形機など，電子機器の生産工程における他の装置についても，高品質と省エネルギーを目的とした，多ゾーン化によるきめ細かい温度制御が要求されている。

一方，機械装置組込みの調節計は，装置の小型化を受けて年々小型化の傾向が続いており，この影響により，配線作業の困難さと，機能に直接関連しない装備（表示ランプなど）の省略化が進行している。

こうした中で，富士電機では，次の三つを目的としてマルチループ・モジュール型調節計「PUM」を開発した。

(a)　装置内での調節計小型化要求への対応と使いやすさの両立を図ること

(b)　単体温度調節計では解決しにくい，ループ相互間の干渉がある制御系においての制御性改善を実現すること

(c)　多ループ温度制御市場の顧客満足を得ること

2　マルチループ・モジュール型調節計「PUM」の概要

図1にPUMの外観を示す。本図では6モジュールが連結されている。各モジュールは左右側面に設置された連結コネクタにより直接連結され，ベースボードのたぐいを必要としない構造となっている。この連結コネクタは，内部バスの接続と同時に電源，外部RS-485を同時に接続し，各モジュールへの個別配線を省略可能としている。また，内部バスによるモジュール間のデータ連携により，ループ間の演算・連携動作が可能である。一方，システム内にCPUモジュール，電源モジュールなどの共通部はなく，各モジュールは単体での動作が可能である。

図1　マルチループ・モジュール型調節計「PUM」外観

3　マルチループ・モジュール型調節計「PUM」の仕様

モジュールの種類およびその仕様を**表1**に，システムの構成例を**図2**に示す。

モジュールは大きくアナログ系モジュールとデジタル系モジュール，拡張通信モジュールの三つに分類できる。アナログ系モジュールには4チャネル制御モジュール，2チャネル制御モジュール，アナログ入出力モジュール，アナログ入力モジュール，アナログ出力モジュールがある。デジタル系モジュールにはイベント入出力モジュールがある。

一つの連結システム内には，最大でアナログ系モジュール16台，デジタル系モジュール16台，拡張通信モジュール1台を含むことが可能である。これにより，最大64ループ，デジタル入出力各128点の制御が可能となる。アナログ系，デジタル系各モジュールには，標準で高速通信機能（RS-485，Modbus〈注〉RTUプロトコル，通信速度最大115.2 kbit/s）が装備されており，通信モジュールを追加する必要はない。一方，CC-Link，PLCプログラムレス

〈注〉Modbus：Gould Modicon社の登録商標

小西　英之

温度調節計の開発・設計に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部PIA統括部計測機器技術第二部主任。

安藤　淳

温度調節計の開発・設計に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部PIA統括部計測機器技術第二部主任。

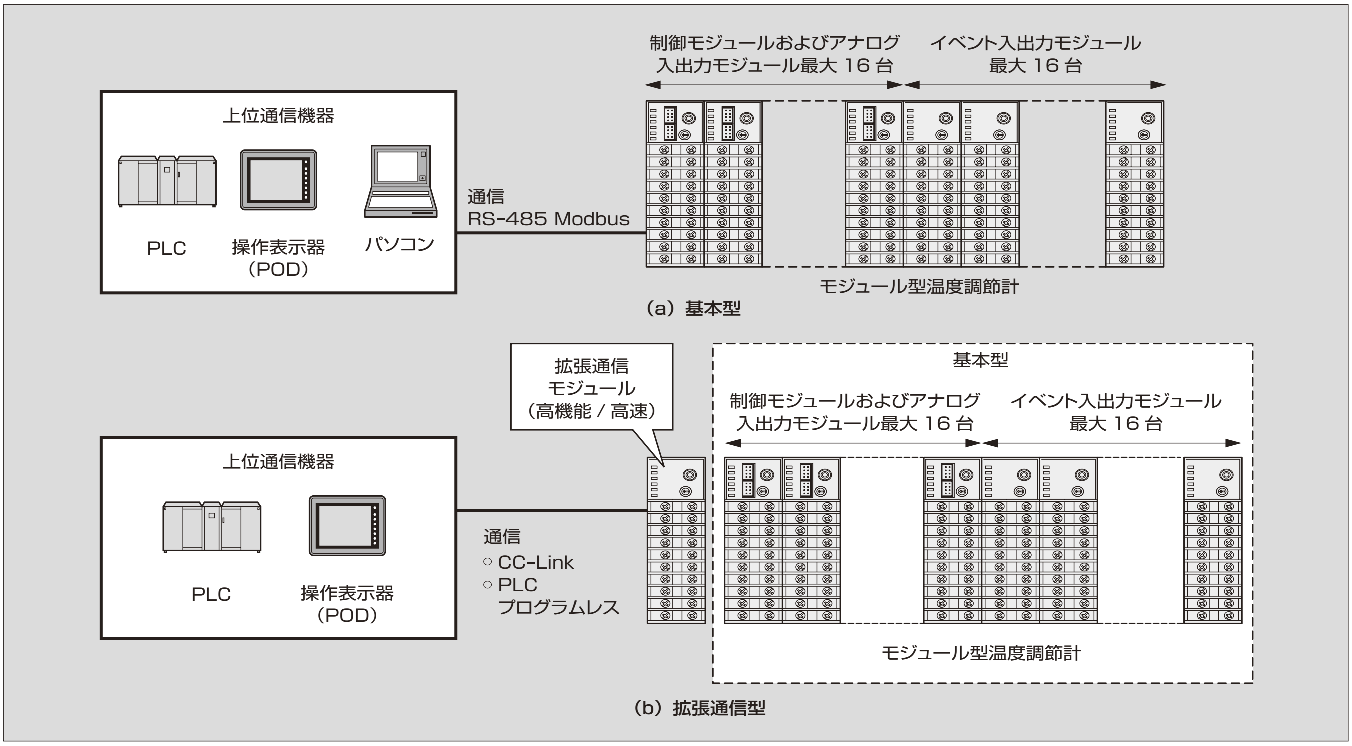
河合 富貴子

制御理論の実システムへの応用に関する研究に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社情報通信制御開発センター情報・制御システム部。

表１　モジュールの種類と仕様

モジュール	仕様項目	仕　様	1システム内最大数
各モジュール共通仕様	外形寸法 通信機能 ローダ通信ポート 入力精度 入力サンプリング周期 電源	30（W）×85（D）×100（H）（mm） RS-485, Modbus RTU, 最高115.2 kbit/s RS-232C ±0.3%FS 200 ms DC24 V±10%	−
制御モジュール 形式：PUMA/B	制御チャネル数 入力種類 制御演算機能 制御出力種類 ヒータ断線検出用CT入力	4チャネル（形式PUMA），2チャネル（形式PUMB） 熱電対/測温抵抗体，電圧/電流 PID制御，PID加熱冷却制御 リレー出力，SSR駆動出力，電流出力DC4〜20 mA 8点	合計16台
アナログ入出力モジュール 形式：PUMV	入力点数/出力点数 入力種類 出力種類	4点/4点 熱電対/測温抵抗体，電圧/電流 電流出力DC4〜20 mA	
アナログ入力モジュール 形式：PUMN	入力点数 入力種類	4点 熱電対/測温抵抗体，電圧/電流	
アナログ出力モジュール 形式：PUMT	出力点数 出力種類	4点 電流出力DC4〜20 mA	
イベント入出力モジュール 形式：PUME	入力点数/出力点数 入力種類 出力種類	8点（4点/コモン×2ブロック）/8点（4点/コモン×2ブロック） 有電圧接点入力，シンク/ソース共用（双方向） リレー出力，トランジスタオープンコレクタ（シンク出力）	16台
拡張通信モジュール 形式：PUMC	伝送規格 伝送速度 通信機能（指定）	RS-422/RS-232C/CC-LINK RS-422，RS-232C：最高230.4 kbit/s CC-LINK：最高10 Mbit/s CC-Link，PLCプログラムレス通信	1台

図２　システム構成例



通信など，ModbusRTU 以外のプロトコルにて通信を行う場合は拡張通信モジュールにて対応可能である。

4　技術課題と取組み内容

4.1　小型化と使いやすさの両立

(1)　各モジュールのサイズは 30(W) × 85(D) × 100(H)(mm) と，業界最小クラスを実現しつつ，**図 3** に示すように端子台・本体・ベース部の 3 分割構造を実現したことにより，新規配線時の設置現場外での端子台のみの配線を可能とし，現地納入後の交換などの場合も配線および設置状態を崩さずに本体交換を可能とした。また，すべての入出力のインジケータランプを設置し，本体のみでの動作・異常状態の確認を可能とした。

(2)　各モジュール正面にローダ通信ポートを配置しており，ローダソフトウェアを使用して本体の設定・操作・動作モニタが可能である。接続方法としては，各モジュールへの接続に加え，システム内マスタに設定したモジュールへの接続のみでシステム全体を一括で接続できる機能を装備した（**図 4**）。これにより，簡便性と管理保守性の両立を実現している。

また，ローダソフトウェアには，通常使用するパラメータをユーザーが登録できる“お気に入り”機能を装備しており（**図 5**），使いやすさの向上に寄与している。

4. 2　ループ相互間の制御改善

モデル予測制御を用いた多ゾーン最適制御により，制御対象の隣接した熱干渉を低減させ，きめ細かい制御を可能とした。適用事例を第 5 章に示す。

4. 3　多ループ温度制御市場における顧客満足度向上

(1)　通信パフォーマンスの向上

従来，システムが大規模となるに伴って通信経由でのデータ更新可能速度が低下し，表示操作器などからのデータ変更の際の操作感を大きく損なうことが問題となっていた。

この原因には，次の二つがある。

(a)　通信速度がデータ量に対して不足すること

(b)　通信回数が増えるため，通信フレームのヘッダー部，応答時間など，1 回あたりの通信に付随する，通信データそのもの以外の時間が無視できなくなること

PUM ではそれぞれに対する対策を行った。

通信速度に関する対策として，従来他機種の 19.2 から 115.2 kbit/s と 6 倍の高速化を図っている。

通信回数に関しては，上位からアクセスしたいパラメータ（通信データのアドレス）が分散していることが原因である。このため，PUM では“ユーザー登録アドレス”機能により，分散したアドレスに配置されているデータを，連続したアドレスに再配置することで，同一ステーションへの通信回数を，1 回にまとめることが可能である（**図 6**）。また，拡張通信モジュールを使用することにより，連結したモジュール全体で 1 ステーションとして扱うことができる。従来はデータ収集のたびにモジュールの数と同じ回数の通信が必要であったものを，1 回に減らすことができるようになった。

(2)　付加機能装備に伴う制御点数制限の排除

4 チャネル制御モジュールにおいて，ヒータ断線警報用 CT（カレントトランス）入力を 8 点装備した。これにより，制御ループ数を減らすことなく各チャネルについて 3 相ヒータ断線の検出を可能とした。富士電機の従来品では，CT 入力は単相 CT 入力に限られ，3 相検出が必要な場合は，別置の 3 相検出器を設置する必要があった。これにより，3 相ヒータ断線検出機能の有無にかかわらず，同一かつ最小のシステム構成（制御モジュール台数，入出力の配線）で使い分けが可能となり，顧客装置のシステム構築コスト削減に寄与できる。

図 3　本体の 3 分割構造

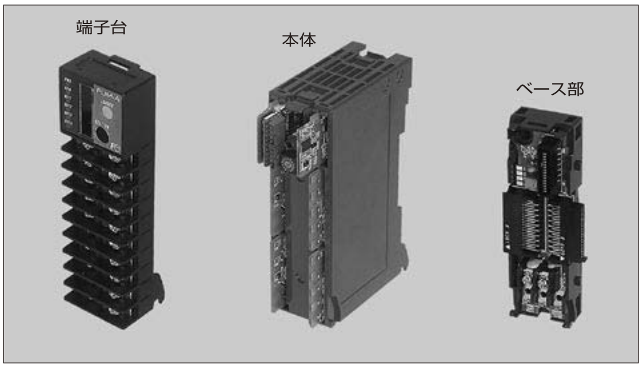


図 4　ローダソフトウェアの接続方法

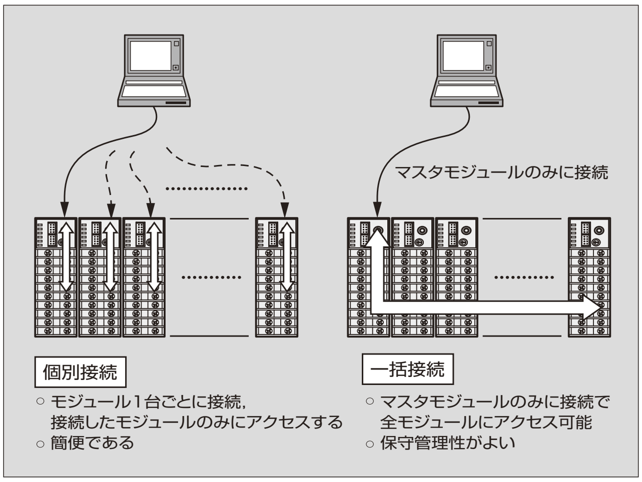


図 5　ローダソフトウェア「お気に入り」登録機能

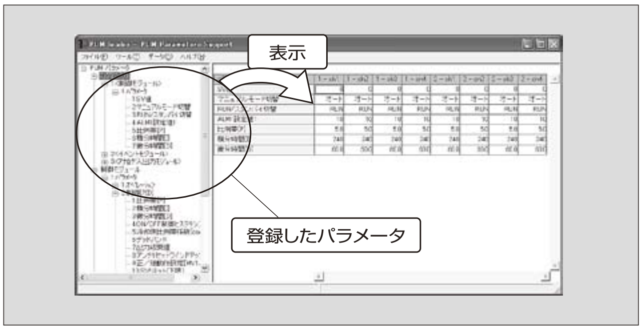


図 6　ユーザー登録アドレス機能

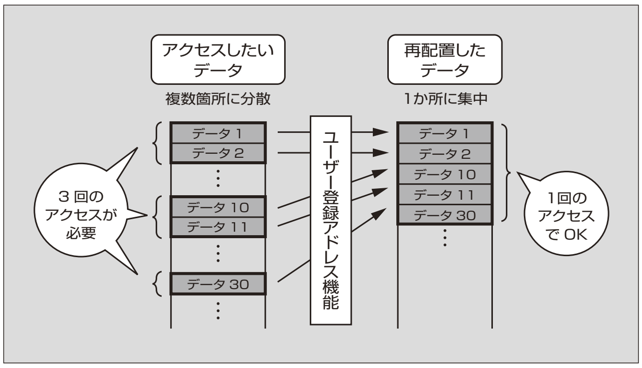


図 7　モデル予測制御の概念図

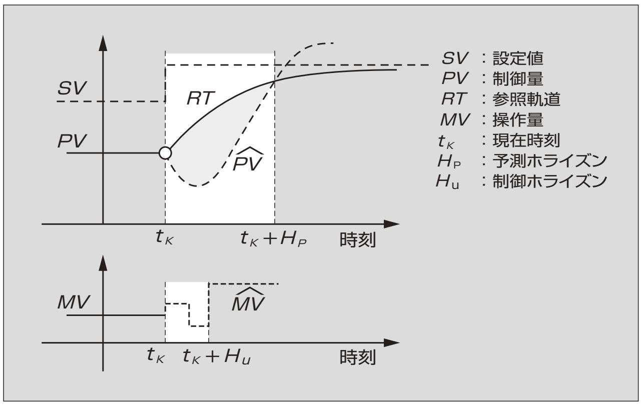
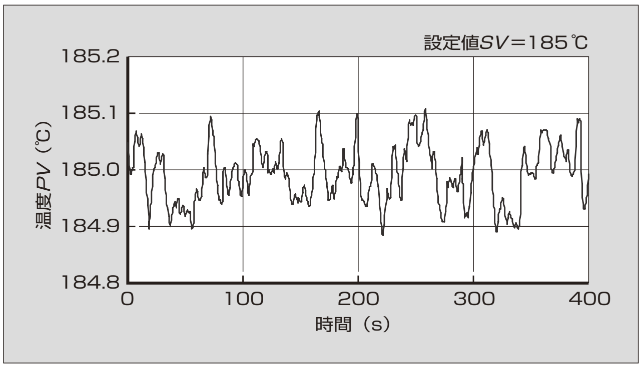


図 8　従来制御（PID 制御）のみによるノズルの温度安定度



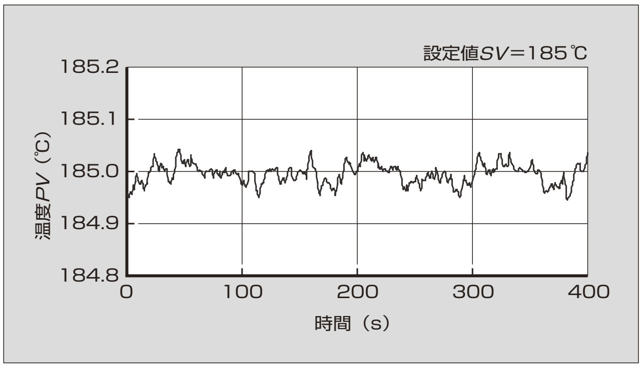
5　多ゾーン最適制御の適用例

多ゾーン温度制御系において温度安定度を悪化させる原因の一つに隣接したゾーン間の熱干渉が挙げられ，この熱干渉を低減させることにより温度安定度を向上させることができる。従来制御であるPID 制御は，単ループ制御のため熱干渉の低減には限界があった。そこで石油・化学プラントなどの分野で適用実績が数多く報告されている[1,2]モデル予測制御[3]を用いた多ゾーン最適制御を開発し，射出成形機への適用によりその有効性を確認している。

モデル予測制御は，アルゴリズムに制御対象のモデル（内部モデル）を持ち，現在時刻から未来のある時刻にわたる制御対象のふるまいが最適となるように，操作量を決定する制御方式である。**図 7** にモデル予測制御の概念図を示す。

現在時刻 t_k において設定値 *SV* を変化させた場合を考える。予測ホライズン *Hp* と呼ばれる区間において，あらかじめ設定しておいた参照軌道 *RT* と内部モデルから計算した未来の制御量 $\widehat{PV}$ の差が最小となるように，未来の操作量 $\widehat{MV}$ を計算する。このとき，未来の操作量 $\widehat{MV}$ は制御ホライズン *Hu* と呼ばれる区間のみ動作すると仮定する。次に計算された未来の操作量 $\widehat{MV}$ のうち，時刻 t_{k+1} における操作量 *MV*（t_{k+1}）を実際の操作量とする。この動作

図 9　多ゾーン最適制御によるノズルの温度安定度



を逐次繰り返すことにより，未来を予測しつつ，常に最適な制御を行うことができる。上記の特長は，多変数系（干渉系），制御対象に制約がある場合への拡張も容易である。

実際に射出成形機（80 トン，4 ゾーン）に多ゾーン最適制御を適用した。**図 8** に従来制御（PID 制御）のみによるノズルの温度安定度（幅 0.2 ℃，± 0.1 ℃），**図 9** に多ゾーン最適制御によるノズルの温度安定度の結果（幅 0.1 ℃，± 0.05 ℃）を示す。これらの結果から，多ゾーン最適制御によって温度安定度が改善したことを確認した。

6　あとがき

製造技術に対する要求品質の高度化に伴い，高密度化・複雑化する製造装置への組込み用として最適な調節計を開発した。多ゾーン最適制御は隣り合う一次元干渉制御に対し，温度制御の安定化を実現した。

今後は多ゾーン最適制御の領域をさらに広げ，面均一制御（2 次元干渉制御）で FPD 業界への適用を図っていく。また，現状仕様の入力サンプリング周期（200 ms），入力精度（± 0.3%FS）のさらなる向上，各種通信機能への対応により，さまざまな業界に適用可能なモジュール型調節計を開発していく所存である。

参考文献

(1)　S. J. Qin, et, al.“A Survey of Industrial Model Predictive Control Technology,” Control Engineering Practice. vol.11, 2003, p.733-764.

(2)　IEEE Control Systems Magazine, Snapshots of Process Control Part Ⅱ Glassmaking, vol.26, no.6, 2006-12.

(3)　J. M. Maciejowski 著，足立修一，管野正明訳．モデル予測制御 制約のもとでの最適制御 Predictive Control with Constraints. 東京電機大学出版局．2005.

(4)　河合富貴子ほか．モデル予測制御を用いた多ゾーン最適制御の射出成形機への適用．平成 19 年電気学会全国大会．4-177.

(5)　中沢親志ほか．マルチループ最適制御を実現するモジュール型温度調節計．計装．2007-6. p.187.

ペーパーレス記録計「PHR」「PHW」

篠田　正紀（しのだ　まさき）　今野　久洋（こんの　ひさひろ）　西島　淳一（にしじま　じゅんいち）

1　まえがき

温度や圧力など，計測データの経時変化を記録するための記録計には大別して 2 種類ある。一つは，チャート紙にインクジェットやペンで描画することによって記録するタイプであり，もう一つは，液晶画面などに表示すると同時に，メモリにデジタル値として記録していくタイプの，いわゆるペーパーレス記録計である。近年は後者の需要が急増している。その理由として，日常データの監視，記録機能に加え，解析，情報処理のために記録データをデジタル処理するといった要求があり，これにペーパーレス記録計の利点が生かされていることが挙げられる。

富士電機のペーパーレス記録計は，2001 年の発売以来[(1)]，プラント，各種機械装置をはじめ，測定値の記録が必要とされるさまざまな分野で使われてきた。このたび，従来の 5.7 インチサイズディスプレイのタイプ「PHR」に加え，12.1 インチサイズの大型タイプ「PHW」を発売した。

本稿では，それぞれのタイプの機能，特長などを中心に紹介する。

2　特　長

以下に主な特長について述べる。

(1)　明るく見やすいディスプレイ

PHR では 5.7 インチ，PHW では 12.1 インチの広視野角，高輝度の TFT カラー液晶ディスプレイを採用しており，視認性に優れている。常時監視の必要がない場合には，自動的に画面を消灯することも可能である。

(2)　簡単な操作

記録のための各種パラメータの設定・変更などは，画面に表示されるガイドに沿って操作することにより，マニュアルなしでも行えるほどシンプルな操作が可能となっている。

(3)　マルチ入力と入力点数

入力点数は，PHR では最大 18 点，PHW では最大 36 点で，ともに，電圧，熱電対などに対応したマルチ入力となっている。

(4)　多彩な表示画面

測定データの画面表示として，一般的なトレンド表示のほか，バーグラフ表示，デジタル値表示，アナログ表示などが可能であり，測定対象，利用方法に応じた表示形式を選択できる。

(5)　コンパクトフラッシュ[〈注 1〉]メモリ記録

測定データは，リアルタイムで液晶画面に表示されると同時に，コンパクトフラッシュメモリにデジタル値として記録される。このデータは，そのメモリカードをパソコンに接続することによって，パソコンで読み込むことができ，また，ネットワーク回線を通じて上位機器から読み出すことも可能である。

(6)　パソコン上でのデータ処理

前記のメモリカードからパソコンに取り込んだデータは，一般的な表計算ソフトウェアなどで読み込むことができるほか，富士電機オリジナルのデータビューワソフトウェアを使用すれば，パソコン上での記録データの再現など，さまざまなデータ処理が可能である。

(7)　演算機能

フィルタ，開平，チャネル間差分のほか，流量瞬時値の積算によるトータル流量計算，日報や月報などの作成，レトルト食品の殺菌時の温度管理で用いる F 値演算などの機能を持っている。

(8)　Ethernet 機能（オプション）

Ethernet[〈注 2〉]への接続が可能であり，LAN を利用して，データやファイルの転送，電子メール自動発信などの機能を実現できる。

3　機　能

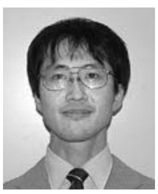
図 1，**図 2** に PHR，PHW の外観を示す。ともにパネルに取り付けての使用方法となるが，PHR では，**図 3** に示

〈注 1〉コンパクトフラッシュ：サンディスク社の登録商標

〈注 2〉Ethernet：米国 Xerox Corp. の登録商標

篠田　正紀

記録計の製品開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部 PIA 統括部計測機器技術第二部担当課長。



今野　久洋

記録計の製品開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部 PIA 統括部計測機器技術第二部主任。

西島　淳一

記録計の製品開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部 PIA 統括部計測機器技術第二部。

すポータブルタイプがあり，取っ手で持ち運ぶことができるため，必要な場所へ持ち込んでの記録などに適している。

以下，前述の特長で述べた内容およびそれ以外の主な機能について，具体的に述べる。

3.1　操作性

記録条件の設定・変更などの操作については，**図4**に示すように，日本語の表示ガイド画面が連動して表示されるため，操作手順，操作結果が容易に理解できる。主な操作は，マニュアルなしでも簡単に行えるため，ユーザーにとっても大変取り扱いやすい。

また，**3.2**節に述べる各種画面の切替についても，ワンタッチで切替えが可能である。

これらの画面は，国内用はすべて日本語表記の画面構成であるが，輸出用として英語表記も可能である。

なお，記録に関する各種パラメータは，記録計本体の画面から行うほかに，パソコンからパラメータを設定したり，その設定値をパソコンに保存することができるようにパラメータローダソフトウェアが付属しているため，機器の管理などが容易にできる。

3.2　画面の種類

図5～**図10**に測定データの表示画面の例を示す。

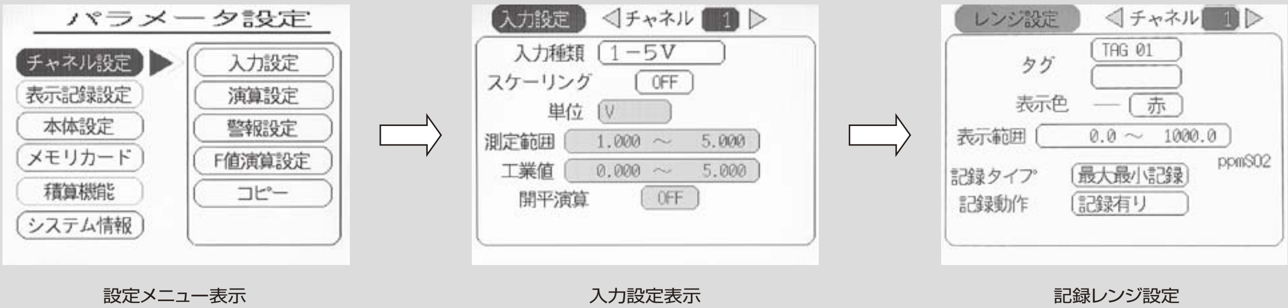
トレンド記録画面では，チャート紙上にペンで記録しているイメージと同様のものを表示している。**図5**に示す垂直方向のほかに，水平方向のトレンド表示も選択できる。また，この画面とは別に，コンパクトフラッシュメモリに記録されている過去の記録データを再生表示するという，ヒストリカルトレンド画面がある。キーでスクロール表示

図1　PHRの外観

図2　PHWの外観

図3　PHRポータブルタイプの外観

図4　設定操作画面



設定メニュー表示　　入力設定表示　　記録レンジ設定

特集

したり，日時を指定して，過去の特定ポイントの測定値を表示することができる。

その他の測定データ表示として，バーグラフ表示，アナログメータ表示，デジタル表示などの画面が用意されている。

このほかに，次の画面も用意している。

(1)　瞬時値を積算計算した結果および，その日報，月報などの積算データ表示画面

(2)　測定値が上下限設定値を外れたときの警報発生など，種々のイベントを表示するイベントサマリー表示画面

イベントサマリー表示には，あらかじめ設定しておいたメッセージを表示させることなども可能である。例えば

図 5　トレンド（縦）表示画面

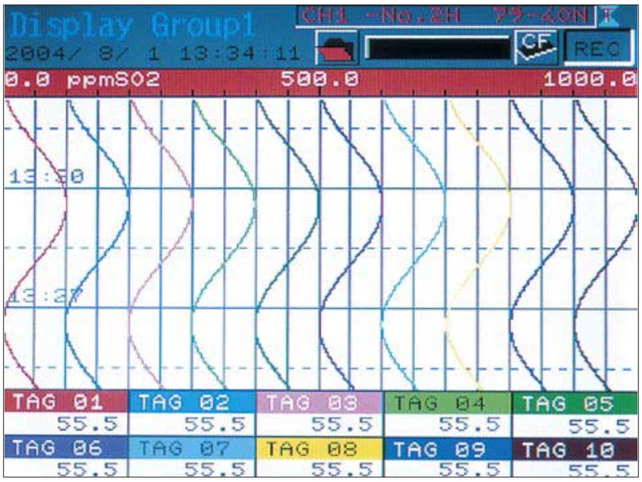


図 8　デジタル表示画面

図 6　バーグラフ表示画面

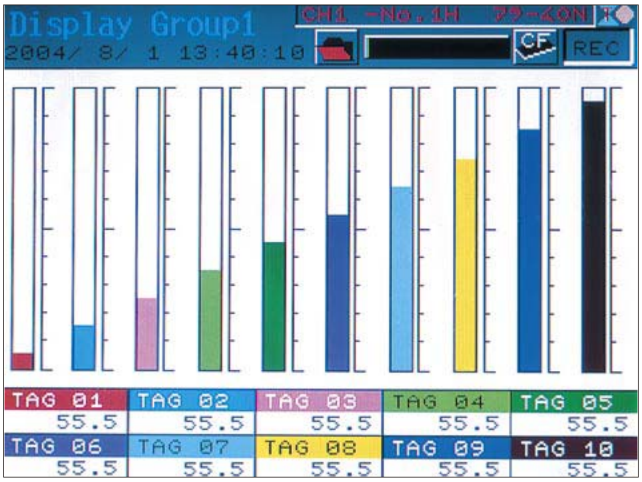


図 9　積算データ表示画面

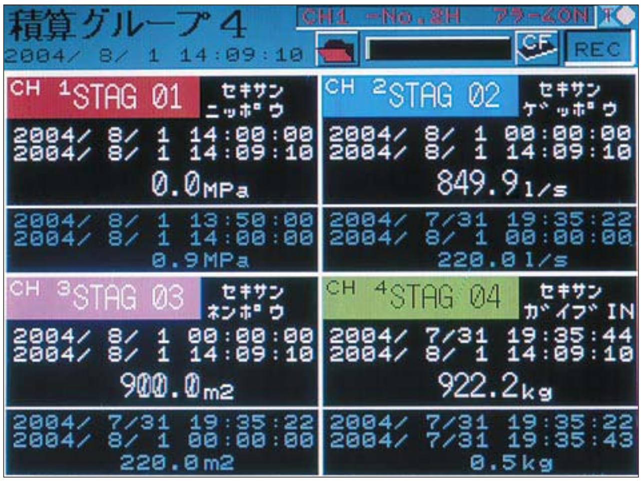


図 7　アナログメータ表示画面

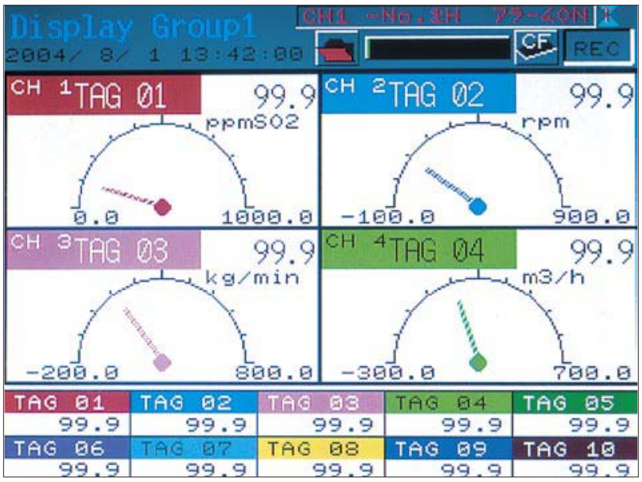
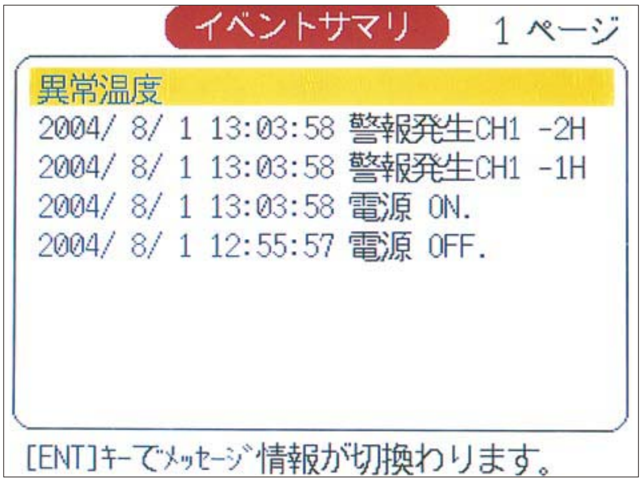


図 10　イベントサマリー表示画面



「薬品 A 注入開始」といったメッセージを，外部からの接点入力のタイミングで表示できる。

また，Ethernet 機能付きの場合には，通信の開始・停止のログ，電子メール送信記録，FTP サーバへのログイン・ログオフなどの履歴を表示する，Ethernet ログ表示画面などがある。

3.3　データの保存

測定されたデータは，デジタル値としてメモリに記録される。そのデータ形式として，アスキー形式とバイナリー形式の 2 種類が用意されている。

アスキー形式での記録を指定した場合，データは，数字や文字で表現されたファイルとして保存されるため，互換性に優れ，例えばパソコンの表計算ソフトウェアなどでも直接読み込むことができ，詳細なデータ解析を行うなど，後工程での再利用に便利な形式である。

これに対して，バイナリー形式での記録を指定すると，パソコンなどを使ってのデータの改変が困難となるため，特に記録の信憑性（しんぴょうせい）が問われる用途では有効な形式といえる。さらに，アスキー形式に比べて，使用するメモリ容量が少なくなるため，同じメモリカードを使用したときでも，より長期間の記録が可能となる。例えば，256 M バイトメモリ，30 秒周期での平均値記録，入力 9 チャネルのみの場合，アスキー形式で約 3 年に対し，バイナリー形式では 4 倍の約 12 年となる。

3.4　データビューワ

標準添付のパソコン用ソフトウェアであるデータビューワを用いると，記録計でコンパクトフラッシュメモリに保存しておいた過去のデータを，パソコン上でも再生できる。図11にその一例を示す。

また，Ethernet などで記録計と接続しておけば，記録中のデータをリアルタイムでパソコン画面上に表示させることもできる。

これらのデータは，市販の表計算ソフトに取り込むことも可能なので，さらに詳細なデータ解析にも利用すること

図 11　データビューワのトレンド表示

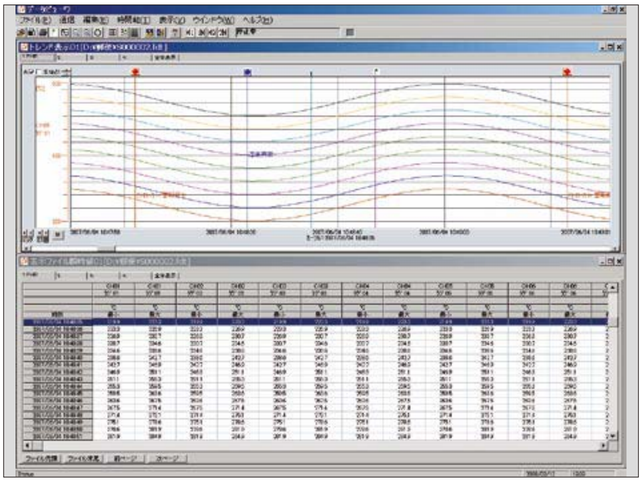


表 1　PHRとPHWの仕様

		PHR	PHW
入　力	チャネル数	9，18点	9，18，27，36点
	種　類	熱電対，測温抵抗体，直流電圧，直流電流（外部抵抗）	
	サンプリング周期	100 ms	100 ms（9，18点），200 ms（27，36点）
	DI入力	無電圧接点入力 10点	無電圧接点入力 16点
表　示	表示部	5.7インチ カラーTFT液晶	12.1インチ カラーTFT液晶
	グループ	最大 10チャネル×4グループ	最大 10チャネル×8グループ
	表示画面	トレンド（縦横），バーグラフ，アナログメータ，デジタル，イベント，積算，ヒストリカルトレンド（縦横）	
	LCD消灯機能	自動消灯可能（1～60分）	
記　録	外部記録素子	コンパクトフラッシュメモリ	
	記録周期	1秒～（自動書込みのみ）	
	形　式	バイナリー/アスキー	
	トレンドデータ	最大&最小/平均値/瞬時値	
	イベントデータ	アラーム，メッセージ，電源入り切り，記録開始停止	
	積算値データ	日報，月報，年報，外部入力	
演算機能		フィルタ，差演算，F値演算、積算演算、開平演算	
警報出力		リレー10点＋オープンコレクタ18点	リレー20点＋オープンコレクタ16点
Ethernet	プロトコル	FTPサーバ，SMTP，HTTP，Modbus-TCP	
	電子メール送付機能	アラーム通知，イベント通知、定時通信	
	Webサーバ機能	現在地，積算値，イベントなどのPC上での閲覧	
	FTPサーバ機能	コンパクトフラッシュメモリ情報のPC上での閲覧，ネット経由でのファイル操作	
外形寸法		160（W）×144（H）×185（D）（mm）	300（W）×300（H）×221（D）（mm）

特集

が可能である。

3.5　Ethernet 機能

Ethernet 機能（オプション）を使用すると，次のようなことが可能となる。

(1)　Web サーバ機能

パソコンで測定値のデジタル値，イベント情報を表示する。

(2)　電子メール機能

LAN 上のメールサーバを使って，あらかじめ指定した宛先（最大 8 か所）に電子メールを自動発信する。発信のタイミングは，警報の発生/解除，外部設定入力，指定した一定時間ごと，記録計の異常検出時などが指定できる。

(3)　FTP 機能

記録計内のコンパクトフラッシュメモリに保存されている測定データファイルを，パソコンへ取り込み，ファイルの一覧を表示する。

(4)　Modbus[〈注 3〉] TCP 機能

パソコンのアプリケーションソフトウェアによって，測定データを常時収集するデータロガー機能を実現する。

4　仕　様

表 1 に PHR と PHW の仕様を示す。

両者は，入力点数，画面サイズなどに相違があるが，主要機能，操作性，インタフェースなどは統一されている。

5　SCADA ソフトウェアとの連携

SCADA ソフトウェアの「CitectSCADA[〈注 4〉]」と併用することで，パソコンと LAN を用いたリモート監視システムを構築できる。

CitectSCADA の監視点数は，最小 75 点から最大 15 万点まで対応できるため，設備の規模に対応したシステムの構築が可能である。例えば，工場内に設置されたさまざまなセンサ信号を記録計に取り込み，その記録計を LAN に接続することによって，それらの測定データのリモートでの画面監視のほか，警報の発生状況の一覧表示，日報や月報などの各種帳票の作成・出力などが可能となる。

6　あとがき

ペーパーレス記録計の特長と機能について紹介した。

今後の IT 化の進展に伴って，記録計のペーパーレス化が一層進展すると思われるが，高度化，多様化する顧客のニーズに応えるべく，機能，性能のさらなる向上を図るよう改良を進めていく所存である。

〈注 3〉Modbus：AEG Schneider Automation International 社の登録商標

〈注 4〉CitectSCADA：CITECT 社の登録商標

参考文献

(1)　田中行雄，西島淳一．ビデオチャートレコーダ PHR．計測技術．vol.30, no.5, 2002, p.31-33.

直接挿入レーザ方式ガス分析計「ZSS」

金井　秀夫（かない　ひでお）　　中村　裕介（なかむら　ゆうすけ）　　小泉　和裕（こいずみ　かずひろ）

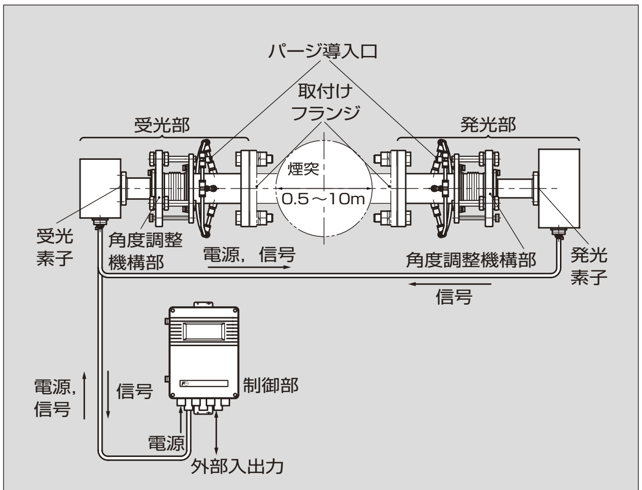
1　まえがき[(1)]

日本では，大気汚染から国民の健康を保護し，生活環境を保全することなどを目的として「大気汚染防止法」が1968年に制定されている。この大気汚染防止法では，排出物質の種類や施設内容や規模ごとに排出基準が決められており，地域によっては総量規制基準が定められている。

じんかい焼却施設，産業廃棄物焼却施設では有害物質の一つとして塩化水素の排出規制が定められている。施設内の煙突出口付近から自動連続採取したサンプルガスを吸収槽に通して測定するイオン電極方式の塩化水素自動測定器が多く使用されている。また，発電用などの大型ボイラではアンモニアを使用した脱硝設備の併設が多く，残存アンモニアのモニタや脱硝監視のため，アンモニア計が設置される。アンモニアは塩化水素と同様に試料ガスを自動連続採取して赤外線分析法，化学発光法などで測定されている。

このたび，レーザを使用した，サンプリング不要な直接挿入レーザ方式ガス分析計「ZSS」を国内メーカーとして初めて発売したので，その構成，原理，特長，用途などについて紹介する。

図1　直接挿入レーザ方式ガス分析計の構成



2　装置の構成

図1に構成を，**図2**に外観を示す。装置は発光部，受光部，制御部の3個のユニットから構成される。

(1)　発光部

赤外半導体レーザやその温度を制御する回路とペルチェ素子などで構成され，測定成分の吸収スペクトルに合った波長に安定させ発光する。

(2)　受光部

ホトダイオードや増幅回路，濃度検出回路などで構成され，煙道内を通過した光を電気信号に変換して濃度検出する。また，受光部と発光部は煙道や煙突を挟む形で取り付けられ，それぞれ角度調節機構部を持ち，フランジ取付け位置のずれや煙道のひずみによる光軸のずれを調整できる。さらにダストによる詰まりや窓汚れを防ぐパージ機構を備えている。

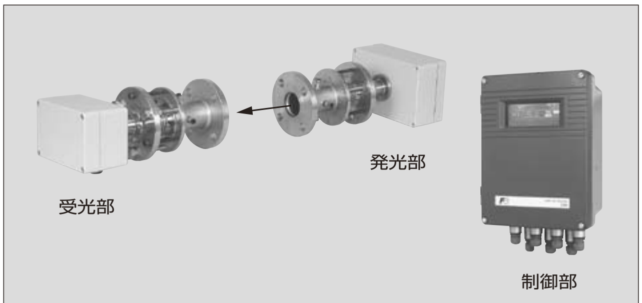
(3)　制御部

発光部と受光部への電源供給，ガス温度やガス圧力などの濃度補正，濃度やアラームの表示および信号の入出力を行う。

3　測定原理[(2)]

塩化水素やアンモニアなどのガス分子はそれぞれ固有の赤外線吸収スペクトルを持っている。**図3**に各種ガスの吸

図2　直接挿入レーザ方式ガス分析計の外観



金井　秀夫

油膜センサ，水質安全モニタなどの水質計の設計・開発を経てガス分析計の開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部PIA統括部計測機器技術第二部主任。

中村　裕介

水質計の設計・開発およびガス分析計の開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部PIA統括部計測機器技術第二部課長。

小泉　和裕

センサ・計測機器の研究開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社生産技術センター機器技術研究所副主任研究員。電気学会会員。

図3　赤外線吸収スペクトル

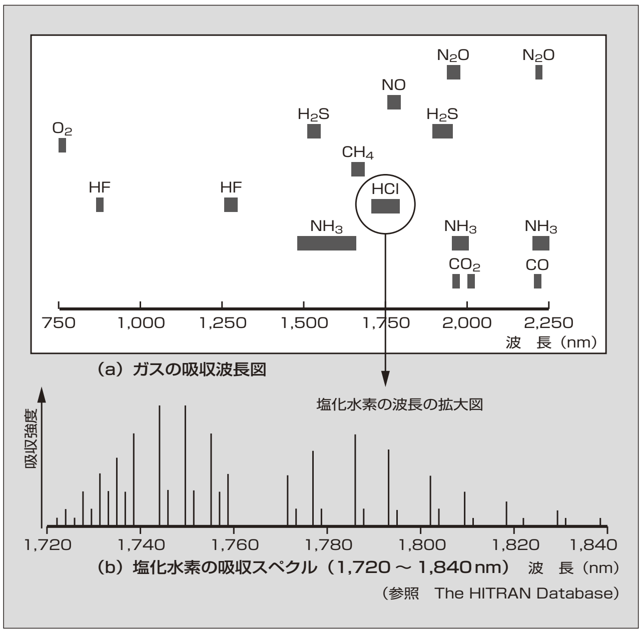
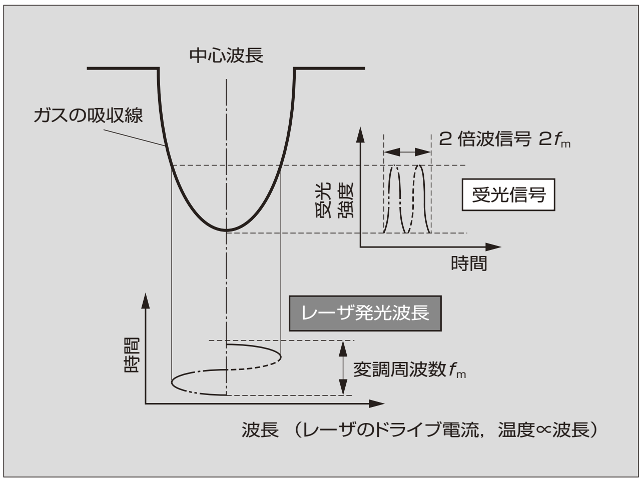


図4　測定方式原理



収波長域と塩化水素の吸収スペクトルを示す。赤外線の吸収は線スペクトルとして存在している。

発光部から照射されたレーザ光は Lambert–Beer の法則に基づき煙道内の測定ガス濃度に応じ吸収され受光部に到達する。この受光強度を検知し煙道内のガス濃度を測定する。

$$I(L) = I_0 \exp(-knL) \quad \cdots\cdots (1)$$

$I(L)$：受光強度

I_0：照射強度

k：比例係数

n：測定ガスの濃度（密度）

L：煙道幅

図4 に測定方式の原理を示す。レーザ光は半値幅約 10 pm（pm ＝ 10^{-12} m）のほぼ単波長の光であるが，駆動電流や温度を変化させることで波長変調が可能である。測定対象ガスの線スペクトルを中心に波長を一定周期で変調して照射すると，周波数特性を持つ受光信号が得られ，吸収による微弱な減衰信号を周波数成分として取り出すことで精度よく測定できる。

4　特　長

(1)　低ランニングコスト

イオン電極方式は月に約 2 回，吸収液の調製など定期的なメンテナンスが必要である。一方，レーザ方式では光量検知によるゼロ点自動補正の採用により，ゼロ点の安定性に優れ，半年から 1 年のメンテナンスフリーを実現することができる。点検作業費の低減や，試薬が不要なことにより従来に比べランニングコストを約 1/5 に低減できる。また定期的な自動校正も必要ないため，欠測時間がないことも特長である。

(2)　低消費電力

サンプリング方式ではガスを吸引し分析計まで導入するため，ダスト除去フィルタ，吸引器，ガス冷却器などが必要で，また，サンプリング配管を凝縮防止のため加熱し，約 50 W/m の電力を必要とする。一方，レーザ方式では，煙道に直接設置するため，これら部材は不要である。また，消費電力が 70 VA と小さく，地球にやさしい製品である。

(3)　ダストの多い排ガスへ適用可能

サンプリング方式ではダストの多い排ガスで使用した場合，ダストフィルタなどが短期間で閉そくし，測定不能の事態が起こる。サンプリングが不要な直接挿入形のレーザ方式では，発光面や受光面を常時清浄空気でパージすることにより，ダストが多い排ガスへも適用できる。

(4)　制御系へ適用可能

サンプリング方式の応答時間は数分（サンプリング導管長に依存）を必要とする。一方，レーザ方式では 2 秒以下と高速なため脱塩設備や脱硝設備においてより緻密な制御に結びつけることにより，脱塩剤の消石灰や脱硝用アンモニアの注入量の削減を図ることができる。

(5)　他ガスの干渉を受けない測定

イオン電極方式では他のハロゲン物質の影響を受ける。一方，赤外線式の分析計では測定に広い波長域を使用しているため，バンドパスフィルタ（特定の波長域だけが透過可能な光学フィルタ）を組み合わせるなどして低減はしているものの，原理的に他ガスからの干渉の影響を受ける。レーザ方式は測定に使用する波長範囲が 1 nm 以下（nm ＝ 10^{-9} m）と非常に狭く，さらに共存ガスの吸収がない波長を選択しているため，原理的に他ガスの干渉を受けない。

(6)　低濃度領域での高精度測定

じんかい焼却施設の煙道出口付近の塩化水素濃度は 5 ppm にも満たない低い濃度のため，測定する機器は低レンジ仕様が望ましい。本分析計は 10 ppm（測定光路長 1 m のとき）の低濃度領域の測定が可能で，従来方式の最小レンジ 50 ～ 100 ppm に対し精度のよい測定ができる。

5 仕　様

主な仕様を**表 1** に示す。

6 プロセスへの適用例(3)

図 5 にじんかい焼却施設や産業廃棄物焼却施設への適用例を示す。

(1)　塩化水素濃度測定による消石灰注入制御

じんかい焼却炉や産業廃棄物焼却炉の集じん装置入口では，排ガス中の塩化水素濃度を低下させるために消石灰を噴霧している。測定対象とする排ガスは，焼却物の種類やプラントの状況によるが，塩化水素 500 ～ 2,000 ppm，温度 200 ～ 400 ℃，ダスト量 2 ～ 10 g/m^3(normal)，水分 10 ～ 20 vol% で，悪条件のため従来は自動連続測定が難しかった。レーザ方式の場合には，ダストのたい積防止，温度低減のため，排ガスの流速に応じて 50 ～ 100 L/min の清浄乾燥空気によるパージを行うことによって，このような条件にも対応できる。

表 1　直接挿入レーザ方式ガス分析計の仕様

項　目		仕　様
測定原理		波長非分散赤外線方式（NDIR）
測定方式		クロススタック方式（パス方式）
光　源		赤外半導体レーザ
レーザクラス		Class 1
測定成分レンジ	塩化水素 アンモニア	最小10 ppm，最大1,000 ppm 最小15 ppm，最大1,000 ppm （光路長1 m時の測定レンジ）
測定検出限界	塩化水素 アンモニア	0.05 ppm 0.15 ppm
性　能	繰返し性 直線性 ゼロドリフト 応答速度	±2.0%FS ±3.0%FS ±2.0%FS/6ヶ月 （アンモニアレンジ20 ppm以下は±3.0%FS/6ヶ月） 2秒以下
暖気時間		90分
角度調整角		5° 以上
ケース保護等級		IP65（耐じん，耐全方向噴流水）
測定可能範囲（煙突径）		0.5～10 m
測定ガス条件	温　度 圧　力 水　分 流　速	最大450℃ 大気圧±10 kPa 50 vol%以下 10 m/s以下
周囲温度	受光部，発光部 制御部	−20～+55℃ −20～+45℃
電源・消費電力		AC100～240 V，50/60 Hz，約70 VA
アナログ出力		DC4～20 mA（550 Ω）， 2点（測定値，酸素換算値）（オプション最大4点）
外部入出力	アナログ入力 接点入力 接点出力	DC4～20 mA，2点（オプション最大6点） DC12～24 V/5～20 mA， 4点（オプション最大5点） DC24 V，1 A，8点（オプション最大17点）
外径寸法・質量	受光部 発光部 制御部	180(W)×400(D)×200(H)（mm），約10 kg 240(W)×400(D)×200(H)（mm），約10 kg 240(W)×135(D)×320(H)（mm），約8 kg

(2)　煙突出口付近の塩化水素濃度監視

じんかい焼却炉や産業廃棄物焼却炉の排ガスは，排出規制に定められた濃度以下であるか監視する必要がある。ガス条件は，塩化水素濃度 0 ～ 50 ppm，温度 100 ～ 250 ℃，ダスト量 200 mg/m^3(normal) 以下，水分 10 ～ 40 vol% である。レーザ方式ガス分析計では湿りガス濃度（水分を含めた濃度）にて測定される。予測される水分濃度を設定し乾きガス濃度（水分を取り除いた後の濃度）で出力することも可能である。

(3)　脱硝設備のアンモニア注入制御

大型のボイラ，じんかい焼却炉などではアンモニアや尿素を使用した選択的触媒還元法（SCR）による脱硝設備が導入されている。測定ガス条件は，アンモニア濃度 50 ～ 200 ppm，温度 300 ～ 400 ℃，ダスト量 200 mg/m^3 (normal) 以下，水分 10 ～ 20 vol% が一般的である。脱硝設備の後方にレーザ方式ガス分析計を設置すると，過剰なアンモニアを注入することなく効率的な制御が可能になる。このような制御により，余剰アンモニアの排出を低減しながら，硫安（$(NH_4)_2SO_4$）の生成による配管の詰まりも抑制することができる。

7 フィールドの測定例

図 6，**図 7** にフィールドでの測定例を示す。

図 6 では，サンプリングガスの採取場所とレーザ方式ガ

図 5　廃棄物焼却施設での設置例

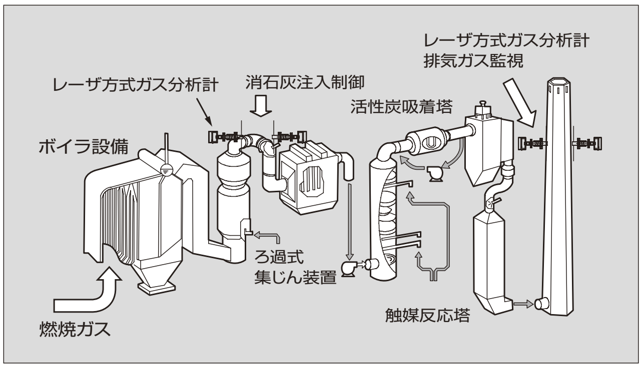


図 6　従来方式との測定比較 1

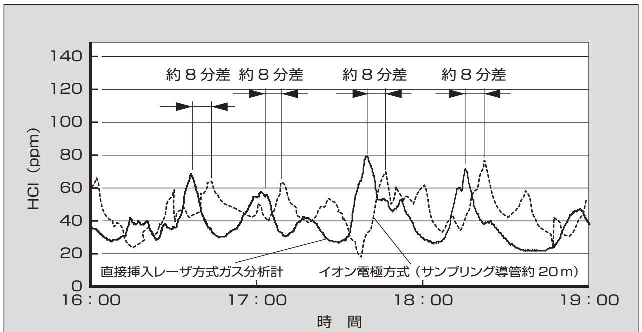
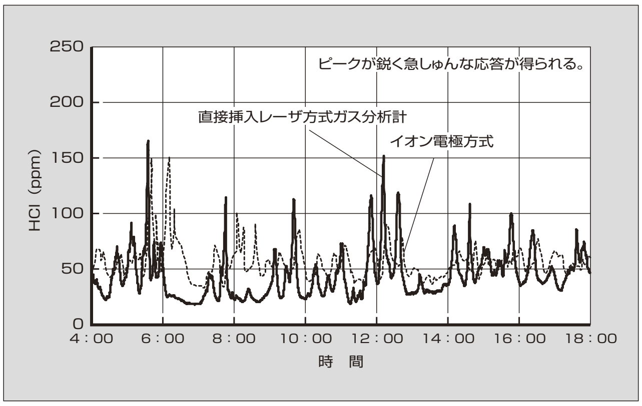


図７　従来方式との測定比較２



ス分析計の設置場所は同じである。相互の出力は良好な相関を示しているが，レーザ方式ガス分析計の出力はサンプリング導管の長さが 20 m のイオン電極方式と比べて，応答が約８分速い結果を示している。

図７では，レーザ方式ガス分析計の出力はイオン電極方式と比べてピーク値が鋭く急しゅんな応答が得られている。これは濃度検出部が直接煙道に取り付けられているため，瞬時の状態を反映しているものと考えられる。

8　あとがき

直接挿入レーザ方式ガス分析計は従来のサンプリング式にはない高速応答，低維持費やメンテナンスフリーなど多くの特長があり，制御用など新しい用途への適応も可能になるので，ユーザーに満足していただける製品である。

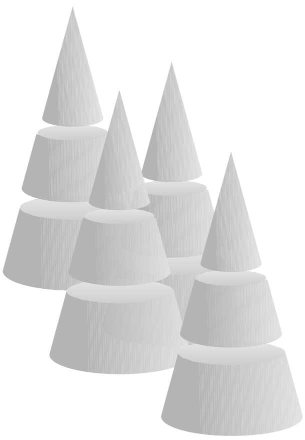
現在，塩化水素やアンモニアなどの吸着性があり，サンプリングが難しいガスを測定対象にしているが，燃焼制御用の酸素計，測定ガスと水分を同時測定する２成分計など，ニーズに合った測定仕様の製品を増やしていく所存である。

参考文献

(1)　中村裕介ほか．直接挿入レーザ方式ガス分析計．計測技術．vol.35, no.9, 2007, p.466.

(2)　Peter Werle et al. Near- and mid-infrared laser-optical sensors for gas analysis. Optics and Lasers in Engineering. 37 2002, p.101-114.

(3)　谷川昇ほか．都市ごみ焼却施設における試料非吸引採取方式塩化水素自動計測器の実用性の評価．大気環境学会誌．42（1）, 2007, p.28-33.



特集

直接挿入形ジルコニア式酸素計「ZFK8/ZKM」

加藤　修久（かとう　のぶひさ）　宇津木 喜弘（うつき　よしひろ）　乾　貴誌（いぬい　たかし）

1　まえがき

酸素センサは，自動車用エンジンの空燃比制御，産業用ボイラ，各種工業炉，ごみ焼却場などの燃焼制御・管理に使用されている。**図 1** に示すように，適正空気比では燃料は完全に燃焼するため，最大の燃焼効率が得られ，NO_x や SO_x の発生量も十分に抑制することができる。そこで，酸素センサを用いて，燃焼排ガスの酸素濃度を測定し，その信号を燃焼機器にフィードバックすることで最適な燃焼制御を行い，燃料使用量を低減することができる。

近年のエネルギー問題や環境問題に対して，過酷な環境下でも長期間安定的に使用できることと，煙道などに直接挿入されることによる応答性のよさから，直接挿入形ジルコニア式酸素計の重要性は増している。

これらのニーズを受け，より信頼性の高い直接挿入形ジルコニア式酸素計を開発したので概要を紹介する。

2　測定原理

図 2 に，ジルコニア式酸素センサの測定原理を示す。ジルコニア（ZrO_2）に，イットリア（Y_2O_3）やカルシア（CaO）を固溶させることにより，安定化ジルコニアが得られる。この安定化ジルコニアは高温にすることで酸素イオン導電性を有する固体電解質の性質を現す。この固体電解質の両面に白金などの電極を形成し，微視的には，固体電解質と電極と酸素の界面（三相界面）で，電気化学反応が生じていると考えられている。それら電極が異なる酸素分圧の環境に置かれた場合，電気化学反応により両電極間に起電力が生じる。この現象は濃淡電池作用と呼ばれている。

高酸素分圧側：$O_2 + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}$（イオン化）……… (1)

低酸素分圧側：$2O^{2-} \rightarrow O_2 + 4e^-$（分子化）　……… (2)

発生する起電力 E は，ネルンスト（Nernst）の式により，(3)式のように表せる。

$$E = (RT/4F)\ln(P_H/P_L) \quad \cdots (3)$$

R：気体定数

T：絶対温度

F：ファラデー定数

P_H，P_L：両電極の酸素分圧

このように，起電力は酸素分圧と温度だけによって決まる簡単な式で表せる。**図 3** に，代表的な温度における酸素

図 1　空気比と燃焼効率

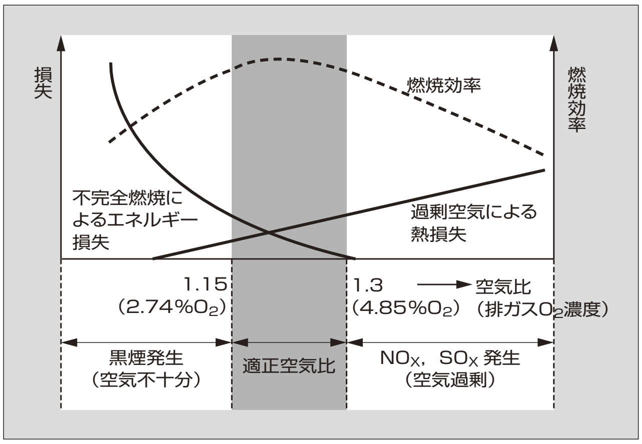
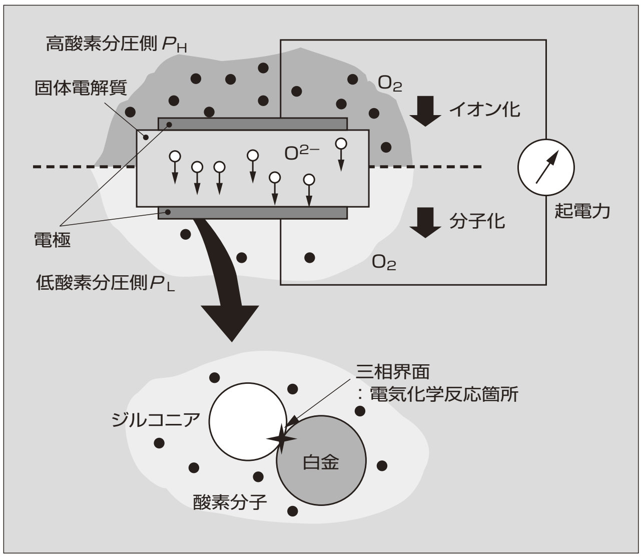


図 2　測定原理



加藤　修久

工業用計測器の設計・開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部 PIA 統括部計測機器技術第二部。

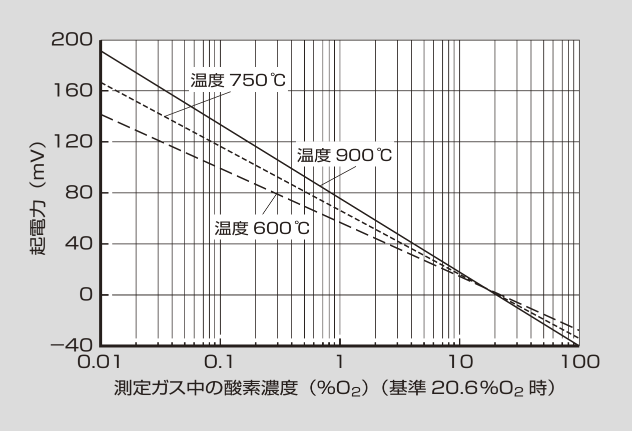
宇津木 喜弘

赤外線式ガス分析計の設計・開発に従事。現在，富士電機システムズ株式会社制御システム本部 PIA 統括部計測機器技術第二部。

乾　貴誌

工業用計測器の研究・開発に従事。現在，富士電機アドバンストテクノロジー株式会社生産技術センター機器技術研究所。環境システム計測制御学会会員。

図 3　酸素濃度と起電力の関係



濃度と起電力の関係を示す。

3　直接挿入形ジルコニア式酸素計の構成と特徴

図 4 に示すように，直接挿入形ジルコニア式酸素計は，センサ部を有している検出器「ZFK8」と，煙道などに直接挿入されて検出器にガスを導くフローガイドチューブ，センサ制御・信号処理・出力/表示・外部通信を行う変換器「ZKM」から構成され，検出器と変換器はケーブルで連結されている。

検出器とフローガイドチューブに分けることで，検出器先端に装備しているセラミックフィルタの交換が容易にでき，また腐食などによる検出器やフローガイドチューブの交換を個別に行うことができる。さらに，さまざまな煙道の径に対し，フローガイドチューブの長さを変更することにより，容易に対応できる長所もある。

以下に，検出器と変換器の構成と特徴について説明する。

3.1　検出器

図 5 に，検出器の主要構成部品を示す。酸素センサは，イットリア安定化ジルコニアのタンマン管（試験管型）の閉そく端の内外部に，多孔質白金電極膜が形成されている。温度制御のためにセラミックヒータと熱電対と保温材が搭載されている。

一般的に，燃料には微量の硫黄分が含まれているため燃焼により亜硫酸ガスが生成し，またごみ焼却場などでは塩化水素などのガス成分を含有していることがある。

一方，白金は亜硫酸ガスや塩素などのハロゲンガスで劣化すると，センサ内部抵抗が増加することが知られている。さらに，電源をオン/オフする使用方法や保管方法によっては，ヒートサイクルによって電極膜のはく離などの不具合が生じる可能性もある。

したがって，長期間にわたり安定した起電力を得るためには，電極膜の材質と形成方法が非常に重要な要素となる。そこで，三相界面をより安定的に多く存在させ，かつ電極膜のはく離を避けるために，ジルコニア粉末を含有した白金ペーストを，**図 6** に示すディップコート法で塗布することにより，電極膜を均一な多孔質膜にすることができ，信頼性の高いセンサを実現した。ディップコート法を用いた電極膜厚さの主要パラメータは，(4)式で表せるように，引上げ速度と白金ペーストの粘度である。

図 4　直接挿入形ジルコニア式酸素計の構成

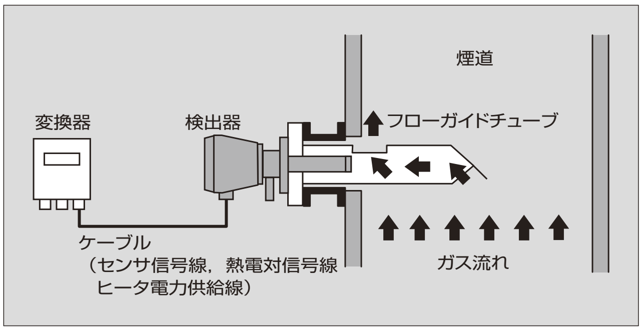


図 5　検出器の構成

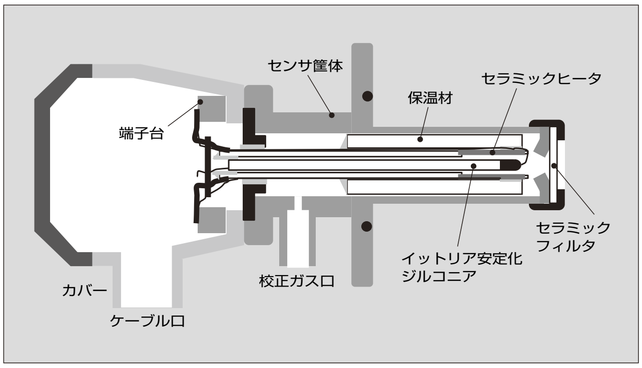
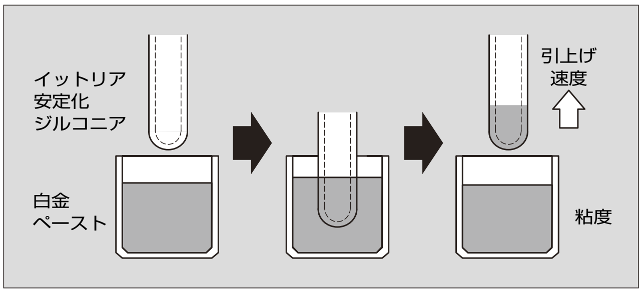


図 6　ディップコート法による電極膜塗布方式



$$h = K(\mu U/\gamma)^{d}\ (\mu U/\rho g)^{1/2} \quad \cdots\cdots (4)$$

h ：電極膜厚さ
μ ：ペースト密度
U ：引上げ速度
ρ ：ペースト密度
γ ：表面張力
g ：動加速度
K, d：定数

これらのパラメータを最適化することにより，均一な電極膜を実現した。

図 7 に，センサ内部抵抗を指標とした亜硫酸ガスによる耐食性試験結果を示す。この結果から，ディップコート法で形成した電極膜の場合は，現行方法で形成した電極膜の場合よりも，内部抵抗の増加率が低く抑えられていること

が示されている。

さらに，**図 8** にディップコート法を用いたセンサの急激なヒートサイクル試験（100℃↔850℃，1,500 回）結果を示す。この結果では，電極膜のはく離などの不具合がなく，また内部抵抗の変化も小さく抑えられ，安定した測定が可能である。

上述のように電極膜を改良することで，より信頼性の高く，長期間にわたり安定して測定できる検出器の提供が可能となった。

3.2　変換器

変換器は，従来の変換器「ZRY」「ZRM」と電気的な互換性を持たせ，さらに小型・高機能とした。特に，検出器を長期間にわたり安定して使用するために，従来にはない特徴的な二つの機能を搭載している。一つはセンサ診断機能で，もう一つはセンサ復活機能である。それらの機能について詳細を説明する。

(1)　センサ診断機能

前項で述べたように，電極膜は暴露されるガスの種類により劣化することがあるが，センサ内部抵抗値の変化を検出することにより，その劣化度合いを検知することが可能である。そこで，ゼロ点校正中のセンサ信号が大きい時にセンサ診断を行うことにより，インピーダンス変化を正確に検出することができ，さらに校正中に実施することで，欠測時間（約 3 分）を従来と変わりなくすることができた。

(2)　センサ復活機能

センサ診断機能を用いて，電極膜の劣化が著しいと判定した場合に，センサの復活処理を行う。センサ復活処理は，センサ電極膜に吸着した酸素や劣化させる物質を電気化学的に除去するものであり，具体的には検出器にゼロ点校正ガスを流通させ，センサに交流電流を数分間印加することである。このことにより，センサの内部抵抗が回復し，安定した測定が可能となる。

図 9 に，亜硫酸ガスに暴露した後に，センサ復活処理を行って，センサ内部抵抗の変化を測定した結果を示す。センサ内部抵抗は回復傾向にあることが分かり，現行品のセンサに対しても大きな効果がある。

(3)　その他の機能

通信は，RS-232C を標準装備しており，RS-485 または HART 通信もオプションで選択可能とし，ユーザーの要求に対応できるようにした。

自動/手動校正，自動/手動ブローダウン（フローガイドチューブ内のダスト除去のため実施する）も標準仕様として装備している。接点出力は 6 点，接点入力は 3 点と多く

図 7　亜硫酸ガスによる耐食性試験結果

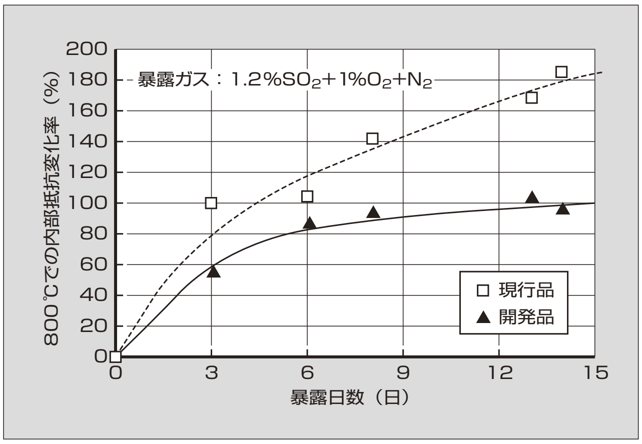


図 8　ヒートサイクル試験結果

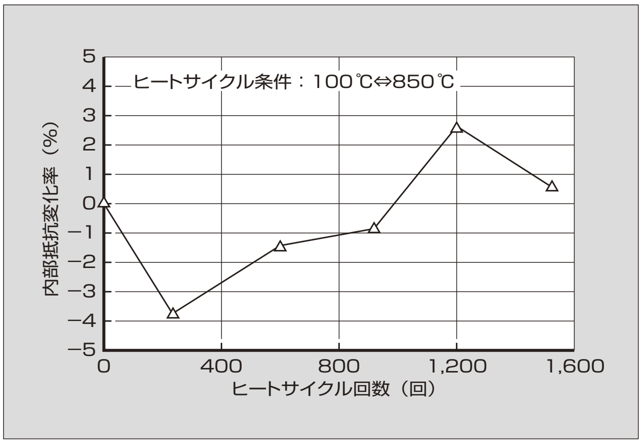


図 9　センサ復活処理の効果

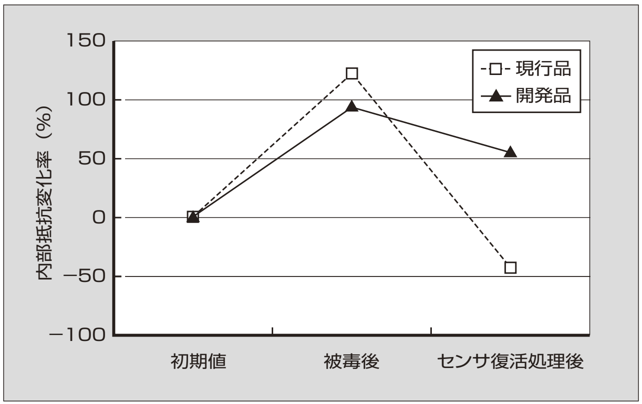


図 10　検出器 ZFK8，変換器 ZKM，フローガイドチューブのの外観

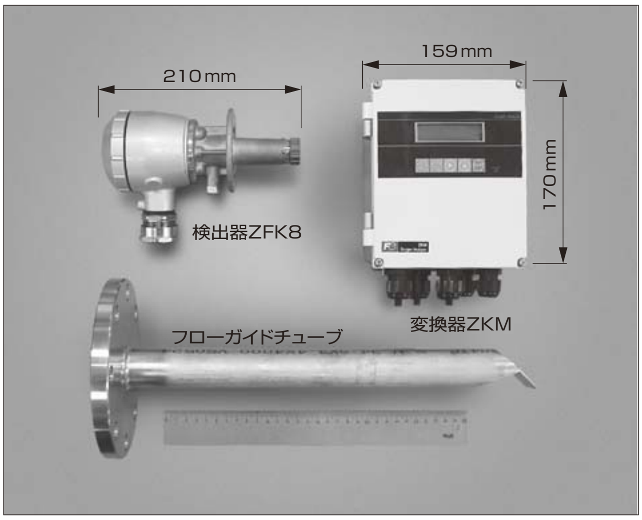


表1　検出器ZFK8と変換器ZKMの組合せの仕様

項　目	仕　様
測定対象	不燃性ガス中の酸素
測定レンジ	0－2…50%O_2（1%step）
表　　示	4桁デジタル（バックライト付液晶）
アナログ出力	DC4－20mA　絶縁，リニア出力
デジタル出力	RS-232C（標準)/RS-485，HART（オプション）
接点入力	3点
接点出力	6点（1aリレー接点）…校正用接点2点を含む
表示言語	和文，英文，中文（1言語を選択）
直線性	±2%FS
繰返し性	±0.5%FS
90%応答時間	5秒以下 （スパンガスからゼロガスに切り換えて，アナログ出力が90%に到達する時間）
ドリフト	±1%FS/週（ゼロ点，スパン点とも）
暖機時間	15分
定格電源	AC100V/AC115V，AC200V/AC220V
寸　　法	ZFK8：210（長さ）×100（最大径）（mm）， ZKM：159（W）×70（D）×170（H）（mm）
質　　量	ZFK8：約1.6kg，ZKM：約2kg

なっており，ユーザーの要求に対応できるようにした。

さらに，ヒータ制御用熱電対の断線検知およびヒータ電源供給を停止する機能や，キーロック機能などの安全性を考慮した機能も搭載しており，ユーザーが安心して使用できるようにした。

表示言語は，和文，英文，中文のいずれかを選択でき，適用範囲を広げることができた。

4　仕　様

図10に外観を，**表1**に仕様を示す。

5　あとがき

近年の身近に感じられる環境問題やエネルギー問題から，工業プロセス制御や環境監視などに用いられるガス分析計の必要性と重要性は一段と増す傾向にある。長年にわたり蓄積してきたガス測定技術の高度化と，革新的なガス測定技術の適用により，今後ともユーザーの要求に対応し，早急な対策が求められている上記の二つの問題解決に貢献していく所存である。

参考文献

(1)　省エネルギーセンター．ガス燃焼の理論と実際．1995, p.81-140.

(2)　宗宮重行．ジルコニアセラミック1．1983, p.109-125.

(3)　清山哲郎．化学センサ実用便覧．1986, p.343-346.

e-Front runners

みんなのe顔つくりたい。
e-Front runners

私たちは、それぞれの分野で最先端をめざす e-Front runners。
地球環境（environment）と調和しながら、
豊かな社会づくりのために（enrichment）、
たゆまぬ進化（evolution）を続けます。
富士電機グループの一人ひとりが、「e」の最前線を走りながら
豊かで、明るい社会づくりに貢献します。

富士電機

主要営業品目

富士電機システムズ株式会社

情報・通信・制御システム，水処理・計測システム，電力システム，放射線管理システム，FA・物流システム，環境システム，電動力応用システム，産業用電源，車両用電機品，クリーンルーム設備，レーザ機器，ビジョン機器，電力量計，変電システム，火力機器，水力機器，原子力機器，省エネルギーシステム，新エネルギーシステム，UPS，ミニUPS

富士電機機器制御株式会社

電磁開閉器，操作表示機器，制御リレー，タイマ，ガス関連機器，配線用遮断器，漏電遮断器，限流ヒューズ，高圧受配電機器，電力制御機器，電力監視機器，交流電力調整器，検出用スイッチ，プログラマブルコントローラ，プログラマブル操作表示器，ネットワーク機器，インダクションモータ，同期モータ，ギヤードモータ，ブレーキモータ，ファン，クーラントポンプ，ブロワ，汎用インバータ，サーボシステム，加熱用インバータ

富士電機デバイステクノロジー株式会社

磁気記録媒体，パワートランジスタ，パワーモジュール，スマートパワーデバイス，整流ダイオード，モノリシックIC，ハイブリッド IC，半導体センサ，サージアブソーバ，感光体，画像周辺機器

富士電機リテイルシステムズ株式会社

自動販売機，コインメカニズム，紙幣識別装置，貨幣処理システム，飲料ディスペンサ，自動給茶機，冷凍冷蔵ショーケース，カードシステム

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する商標または登録商標である場合があります。

富 士 時 報	第 81 巻　第 2 号	平成 20 年 2 月 29 日　印刷 平成 20 年 3 月 10 日　発行 定価 735 円（本体 700 円・送料別）
編集兼発行人	海　田　英　俊	
発　行　所	富士電機ホールディングス株式会社 技術・知的財産権室	〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目 11 番 2 号 （ゲートシティ大崎イーストタワー）
編　集　室	富士電機情報サービス株式会社内 「富士時報」編集室	〒191-8502 東京都日野市富士町 1 番地 電話（042）585－6965 FAX（042）585－6247
印　刷　所	富士電機情報サービス株式会社	〒191-8502 東京都日野市富士町 1 番地 電話（042）587－5555
発　売　元	株式会社　オ　ー　ム　社	〒101-8460 東京都千代田区神田錦町三丁目 1 番地 電話（03）3233－0641 振替口座　東京 6－20018

Ⓒ 2008　Fuji Electric Holdings Co., Ltd., Printed in Japan（禁無断転載）

富士時報論文抄録

計測制御システムの現状と展望

垣堺　健　　若杉　繁実　　木佐　一之
富士時報　Vol.81 No.2 p.108-113（2008）

計測制御システムは最近のITとパソコンの発展により，基幹システム，インテリジェント化されたフィールド機器との融合が図られ，フィールドから生産管理・経営レベルまで，生産現場に必要なさまざまなコンポーネント，ソリューションをシームレスに結合する“垂直・水平統合ソリューション”による全体最適なシステム構築が求められる。本稿では，新情報制御システム「MICREX-NX」を中心に，“垂直・水平統合ソリューション”に対する富士電機の取組みについて紹介する。

機械安全と機能安全への取組み ─ Total Safety ─

小塙 明比古　　長谷川 正美
富士時報　Vol.81 No.2 p.114-120（2008）

FA分野，PA分野を問わず，“安全”特に機械安全，機能安全への関心がここ数年高まりを見せている。2008年は，プロセス向けの機能安全規格IEC 61511がJIS化されたことを受け，プラントの安全系システムに対する関心はますます高まると予想される。本稿では，機械安全と機能安全における安全規格を紹介するとともに，設備全体の安全を総合的に考えるTotal Safetyについて，“安全規格の内外の動向”や新情報制御システム「MICREX-NX」を使用した安全計装システムの例を紹介する。

新情報制御システム「MICREX-NX」の機能拡充

山野　景章　　五十嵐　真　　小林　祐介
富士時報　Vol.81 No.2 p.121-125（2008）

新情報制御システム「MICREX-NX」は，高度化・多様化する生産現場のニーズに即応する“進化を続けるシステム”である。MICREX-NXの新バージョンであるV7の市場投入を控え，その代表的な“進化”である，IPU-Ⅱ，FL-netゲートウェイ，運転支援パッケージ，新産業用パソコンと高性能コントローラ，アドバンストプロセス制御，SPOSA（Single Point Of System Access），プラントセキュリティ，新エンジニアリング機能，新オペレーション機能を紹介する。

PID最適調整技術

松本　宏治　　大井　章弘　　中沢　親志
富士時報　Vol.81 No.2 p.126-129（2008）

制御ループの90％以上がPID調節器といわれている。この調節器の適切な調整が，設備の制御性能を左右する。これまでの調整はベテラン運転員や調整員の経験，ノウハウに大きく依存していた。そこで，省エネルギー，品質，効率の改善の観点から，最新の最適化技術をPID調整へ応用し，ユーザーが指定した行過ぎ量，立上り時間などの波形仕様（望みの波形）から調整を行うことができるPID調整ソフトウェア「FePIDtune」を開発したので紹介する。

エネルギープラントの最適運用システム

小出　哲也　　松本　宏治　　北川　慎治
富士時報　Vol.81 No.2 p.130-134（2008）

鉄鋼業において，好調な内外需要を背景に製造業向け生産は増加基調を続けているが，近年の地球規模での温暖化防止対策の重要性を強く認識し，省エネルギー対策の一層の取組みに努めている。富士電機は製鉄所エネルギー管理の有用性にいち早く着目し，エネルギー最適運用システムパッケージ「FeTOP」を開発した。その最適運用の効果を，オフラインシミュレーションにより検証したので紹介する。

鉄鋼分野向け計算機システムにおける新フレームワークの適用

吉川　肇
富士時報　Vol.81 No.2 p.135-139（2008）

鉄鋼分野の計算機システムは数十年の歴史があり，技術の進歩に伴い，現在ではほとんどの設備に導入され，安定操業・品質向上に貢献している。この鉄鋼分野に導入されている計算機システムもオープン化の流れに伴い，計算機を構成するフレームワークも大きく変化している。従来，各メーカーの特色となっていたミドルウェアについても汎用ミドルウェアが採用され，加えてMES（Manufacturing Execution System）関連のパッケージも適用されつつある。本稿では，これらの適用状況について紹介する。

医薬品業界向け FDA 21 CFR Part 11 に対応した新情報制御システム「MICREX-NX」

渡辺　大介　　小林　益之　　若杉　繁実
富士時報　Vol.81 No.2 p.140-144（2008）

医薬品のグローバル市場では，「FDA 21 CFR Part 11」，国内市場では2005年に厚生労働省が施行した「日本版Part 11」などの薬事規制によって，電子記録/電子認証（ER/ES）に対応した監視制御システムの導入が要求されている。本稿では，ER/ESに対応した新情報制御システム「MICREX-NX」の納入事例などを紹介する。

灰溶融プラント向け新情報制御システム「MICREX-NX」

野村　和朗
富士時報　Vol.81 No.2 p.145-148（2008）

環境プラント分野では清掃工場から排出される灰を溶融処理する灰溶融プラントが，灰減容による最終処分場の延命化，溶融後にできるスラグの再資源化などにつながることから，注目されている。本稿では，三菱重工業株式会社横浜製作所経由東京二十三区清掃一部事務組合向け中防灰溶融施設に納入した，新情報制御システム「MICREX-NX」による大規模監視制御システムについて紹介する。

Abstracts (Fuji Electric Journal)

Fuji Electric's Approach to Mechanical Safety and Functional Safety — Total Safety —

Akihiko Kohanawa Masami Hasegawa

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.114–120 (2008)

Concern for safety, especially mechanical safety and functional safety, has increased for over the past several years in both the FA and PA fields. In 2008, the functional safety standard IEC 61511 for process automation changes to JIS, and as a result, concern for safety systems in plants is expected to increase. In this paper, we introduce the standards for mechanical safety and functional safety, and also present examples of safety technical trends and a safety instrument system that uses the MICREX-NX to explain the concept of total safety, which considers the safety of all equipment.

Optimal Tuning Technology for PID Controller

Kouji Matsumoto Akihiro Oi Chikashi Nakazawa

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.126–129 (2008)

PID control is certainly the most widely used control strategy today. PID control is estimated to be employed in over 90% of control loops. The appropriate tuning of a PID controller depends upon the control performance of the system in which it is utilized. Until now, such tuning has significantly relied on the experience and know-how of skilled operators and technicians. Thus, in order to enhance energy savings, product quality and efficiency, Fuji Electric has developed the "FePIDtune" PID tuning software program that utilizes the latest optimization technology so as to enable a user to make tuning based on desired response waveform specifications, such as the amount of overshoot and rise time.

Application of a New Framework in Computer Systems for the Steel Industry

Hajime Yoshikawa

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.135–139 (2008)

Computer systems in the steel industry have a history spanning several decades, and as technology has advanced, have been introduced into most plants and have contributed to greater operating stability and product quality. With the adoption of open standards, the framework used to configure computer systems in the steel industry has changed considerably. In contrast to the use of manufacturer-specific middleware as in the past, general-purpose middleware and MES (Manufacturing Execution System) related packages are being utilized. This paper introduces the status of the application of this new framework.

MICREX-NX New Information Control System for Ash Fusion Plants

Kazuo Nomura

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.145–148 (2008)

In the field of environmental plant engineering, ash fusion plants that melt the ash emitted from waste incineration facilities are attracting attention because they help prolong the lifespan of final industrial-waste disposal sites due to the reduced volume of ash, and enable the melted slag to be recycled. This paper introduces Fuji Electric's new MICREX-NX large-scale information control system delivered via the Yokohama Dockyard Machinery Works of Mitsubishi Heavy Industries to the Chubo Ash Fusion Facility of No.1 Cleaning Department for 23 Wards in Tokyo.

Automation System Trends and Overview of Fuji Electric's Solutions

Ken Kakizakai Shigemi Wakasugi Kazuyuki Kisa

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.108–113 (2008)

As a result of recent advances in information technology and personal computers, automation systems are being integrated with backbone systems and intelligent field devices, and a comprehensive optimal system configuration — from the field level to the manufacturing control and sales levels — based on vertically and horizontally integrated solutions that seamlessly links the various required components and solutions in a manufacturing plant is desired. This paper introduces Fuji Electric's efforts in developing vertically and horizontally integrated solutions with a focus on the MICREX-NX new information control system.

Functional enhancement of the MICREX-NX New Information Control System

Keisho Yamano Makoto Igarashi Yusuke Kobayashi

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.121–125 (2008)

Fuji Electric's new MICREX-NX information control system continues to evolve and adapt to user needs for greater sophistication and diversity. This paper introduces representative examples of the evolution of the newly-released seventh version of the MICREX-NX to support IPU-II, FL-Net gateways, operator support packages, new industrial PCs and higher performance controllers, advanced process control, SPOSA (single point of system access), plant security, new engineering functions, and new operating functions.

Optimal Operating System for Energy Plants

Tetsuya Koide Kouji Matsumoto Shinji Kitagawa

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.130–134 (2008)

In the steel industry, strong domestic and foreign demand is driving an increase in production for the manufacturing industry, but with the recognition in recent years of the importance of measures to prevent global warming, there is also an increase in efforts to achieve greater energy savings. This paper introduces the "FeTOP" optimal energy operation system package developed by Fuji Electric, which was early to recognize the usefulness of energy control at an ironworks. The effectiveness of this package in optimizing operation has been verified in off-line simulations and the results are presented.

MICREX-NX Information Control System for Pharmaceutical Manufacturing Industries in Accordance with 21 CFR Part11

Daisuke Watanabe Masuyuki Kobayashi Shigemi Wakasugi

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.140–144 (2008)

In the global market for pharmaceutical products, electronic records and electronic signatures must be used in accordance with the FDA 21 CFR Part 11 Rule on electronic records and electronic signatures and, in the Japanese market, in accordance with the Japanese version of Part 11 enforced by Japan's Ministry of Health, Labour and Welfare. For this purpose, the introduction of a supervisory control system that complies with pharmaceutical regulation is essential. This paper introduces Fuji Electric's new MICREX-NX information control system that supports the use of electronic records and signatures, and presents an example of delivered system.

天然ガスパイプラインの遠隔監視システム

庄林　直樹
富士時報　Vol.81 No.2 p.149-152（2008）

石油資源開発株式会社・秋田鉱業所由利原鉱場に納入した天然ガスパイプライン遠隔監視システムを紹介する。由利原鉱場は，鉱場内の制御を行うための DCS に，いろいろな遠隔監視システムを融合した構成とした。遠隔監視には，従来からある TM/TC を使用したシステムと，IP-VPN を使用したシステム，さらにインターネット技術を応用したシステムを組み合わせた。分散する基地，パイプライン情報を，通信設備の条件，監視対象に適した方法にて監視するシステムである。

MICREX-SX と POD を核とする PLC 計装システム

中間　倫之　　野嶌　勝宏
富士時報　Vol.81 No.2 p.153-157（2008）

DCS の老朽化による設備更新，生産システムの情報化による見える化の推進，投資コストの削減が進む中で，中小規模の計装システム構築については PLC をベースとした計装システムの適用が増えている。本稿では，統合コントローラ「MICREX-SX」とプログラマブルオペレーションディスプレイ「POD」を核とする，計装分野向けにエンジニアリング機能を強化した PLC ベースの計装システムを紹介する。

インテリジェント端末による現場情報収集システムとそれを活用したハイレベル管理

相馬　寛　　荻山　泰　　町田　善信
富士時報　Vol.81 No.2 p.158-161（2008）

いつでも，どこでも，誰とでも通信し，情報を共有できるユビキタス社会が求められている。本稿では，品質改善，生産性改善，設備メンテナンスなどに有効な情報を設備，装置，作業者，資材，環境から収集するための「FiTSA」「FiTSX」，その動作シナリオの表現方法である「eSC マトリックス」とエンジニアリングツール「FiT-Support」，人間系インタフェースとしての「POJ」，収集データの有効活用を支援する「DCF」，応用例としてハイレベル管理であるリアルタイム TQC/TPM を紹介する。

新型差圧・圧力発信器「FCX-AⅢシリーズ」

木代　雅巳　　但田　憲彦
富士時報　Vol.81 No.2 p.162-165（2008）

「FCX-AⅢシリーズ」はマイクロキャパシタンス シリコンセンサ（小型静電容量式シリコンセンサ）を搭載した，新型差圧・圧力発信器である。2000 年に開発した「FCX-AⅡシリーズ」を改良し，長期安定性に優れ，高速応答を実現させるとともに，新技術の確立により小型軽量化を実現させた。さらに，3 プッシュボタンを搭載することで現場調整機能を充実させ，アンプケース形状を従来の L 形に加え T 形も用意するなど，幅広いユーザーの要求に応えることで世界中の市場への拡充を目指している。

新型可搬型超音波流量計「ポータフロー C」

矢尾　博信　　山田　和行
富士時報　Vol.81 No.2 p.166-169（2008）

可搬型の超音波流量計において，測定原理として，流速を計測する伝搬時間差法と管内の流速分布を測定するパルスドップラー法を使用し，デザインを一新した可搬型超音波流量計「ポータフロー C」を開発し発売した。従来品に対しさらに小型，軽量化，使い勝手の向上を図った。新しい機能として，流速分布測定，消費熱量演算機能，配管厚さ計測（開発中），USB 通信機能，SD カードによるメモリ容量の拡大を行い，さらに大型カラー LCD の採用，内蔵のリチウムイオン電池による約 12 時間の連続動作を可能にした。

マルチループ・モジュール型調節計「PUM」

小西　英之　　安藤　淳　　河合 富貴子
富士時報　Vol.81 No.2 p.170-173（2008）

マルチループ・モジュール型調節計「PUM」を開発した。PUM は最大 64 ループの制御機能と高速通信，取扱いの容易さを実現している。隣接したゾーン間の熱干渉は，多ゾーン制御系における温度安定度を悪化させる原因の一つであった。そこで，このゾーン間の熱干渉を低減する多ゾーン最適制御技術を開発し，制御の安定化を実現した。さらに PUM は，製造技術に対する要求品質の高度化に伴い，高密度化・複雑化する製造装置への組込み用として最適な調節計である。

ペーパーレス記録計「PHR」「PHW」

篠田　正紀　　今野　久洋　　西島　淳一
富士時報　Vol.81 No.2 p.174-178（2008）

記録データをディスプレイに表示するペーパーレス記録計の利用が広がってきた。計測したデータは，画面に表示できるほか，デジタル値としてメモリに記録できるため，パソコンでのデータ処理など，後工程での利用に有効である。さらに，LAN 回線に接続することによって，データ送信，メール発信などの機能も実現できる。従来からの 5.7 インチサイズに加え，12.1 インチサイズの大型タイプがシリーズ化された。本稿では，それらの機能，仕様などについて紹介する。

直接挿入レーザ方式ガス分析計「ZSS」

金井　秀夫　　中村　裕介　　小泉　和裕
富士時報　Vol.81 No.2 p.179-182（2008）

直接挿入レーザ方式ガス分析計「ZSS」は国内メーカー初のレーザ型ガス分析計である。ゴミ焼却施設などで塩化水素濃度を測定する従来のイオン電極方式に比べて，①メンテナンスフリー，②地球に優しい省エネルギータイプ，③ダスト環境に強い，④応答が速いため従来できなかった制御用途などに適用可能，⑤他ガス干渉を原理的に受けない，⑥低レンジ測定が可能，⑦自動校正による欠測時間がない，⑧低ランニングコストなど数々の優れた性能を持っている。

PLC-based Instrumentation System Using the MICREX-SX Series and a POD

Noriyuki Nakama Katsuhiro Nojima

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.153−157 (2008)

As a result of the ongoing replacement of degraded DCS (distributed control systems) by aging, the increasing visualization capability of computerized production systems, and reduction of capital investment, PLC-based instrumentation systems are being used increasingly in small and medium-scale systems. This paper introduces a functionally-enhanced PLC-based instrumentation system that utilizes a MICREX-SX integrated controller and POD programmable operation displays.

A Natural Gas Pipeline Remote Monitoring System

Naoki Shobayashi

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.149−152 (2008)

A natural gas pipeline remote monitoring system delivered to Akita Mining's Yurihara oil and gas field of Japan Petroleum Exploration Co., Ltd. At the Yurihara oil and gas field, a DCS for implementing control functions within the mining site is combined with various remote monitoring systems. Remote monitoring is implemented via a combination of conventional systems that use TM/TC, systems that use IP-VPN, and systems that apply Internet technology. The system monitors information from distributed bases and pipelines using methods suited to the communication equipment requirements and for the object to be monitored.

FCX-AIII Series of New Type Pressure Transmitters

Masami Kishiro Norihiko Tadata

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.162−165 (2008)

Fuji Electric's FCX-AIII is a series of a new-type differential pressure and pressure transmitters equipped with a micro-capacitance silicon sensor. This new series is an improvement over the previous FCX-AII series developed in 2000, and realizes excellent long-term stability, high-speed response, and a smaller size and lighter weight as a result of new technology. Additionally, 3 push buttons are provided to enhance onsite adjustment functionality and the amp case is available in either the previous L-shape or in a T-shape so as to support a wide variety of user needs and to enable the targeting of markets worldwide.

A Field Information Acquisition System Using Intelligent Terminals, and High-level Control Based Thereupon

Hiroshi Souma Yasushi Ogiyama Yoshinobu Machida

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.158−161 (2008)

A ubiquitous computing society in which information can be communicated at any time, from anywhere and by anyone, is desired. This paper introduces the "FiTSA" and "FitSX" for acquiring information that is effective for improving product quality, productivity, equipment maintenance and so on, from equipment, systems, operators, materials, and the environment, the "eSC Matrix" for expressing operating scenarios thereof, the "FiT-Support" engineering tool, the "POJ" human interface, and the "DCF" that supports the efficient use of acquired data. Real-time TQC/TPM is also presented as an example of a high-level control application.

PUM Multi-loop Modular Temperature Controller

Hideyuki Konishi Jun Ando Fukiko Kawai

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.170−173 (2008)

Fuji Electric has developed a "PUM" multi-loop modular temperature controller. The PUM controller realizes control functions for up to 64 loops, high-speed communications, and ease of handling. Thermal interference between adjacent zones has been a cause of degraded temperature stability in a multi-zone control system, and therefore, Fuji Electric developed multi-zone optimal control technology that reduces this thermal interference between zones and that stabilizes the control. Furthermore, the PUM controller is optimally suited for integration into manufacturing equipment that realizes higher levels of integration and complexity in order to support the higher levels of quality required for manufacturing.

Portaflow-C Portable Ultrasonic Flowmeter

Hironobu Yao Kazuyuki Yamada

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.166−169 (2008)

We have announced the development of the Portaflow-C portable ultrasonic flowmeter that features a completely new design and that uses transit-time moasuring method for measuring the flow rate and a pulsed Doppler method for measuring the flow velocity profile within a pipe. This new portable ultrasonic flowmeter realizes a smaller size, lighter weight and is easier to use than prior models. New functions include flow velocity profile measurement, a heat dissipation computation function, pipe wall thickness measurement (under development), and a USB communications function. Furthermore, the memory capacity can be expanded with SD cards, the display is a large-screen color LCD, and the built-in Li ion battery provides approximately 12 hours of continuous operation.

ZSS Cross Stack Laser Gas Analyzer

Hideo Kanai Yusuke Nakamura Kazuhiro Koizumi

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.179−182 (2008)

Compared to the ion electrode method for measuring hydrogen chloride concentration at waste incineration plants, the ZSS cross stack laser gas analyzer has many excellent characteristics, including: (1) maintenance-free operation, (2) environmentally-friendly energy-savings type, (3) strong resistance to dusty environments, (4) high-speed response that enables control applications which were not possible before, (5) no interference from other gases, (6) low-range measurement, (7) no occurence of non-measuring time by the automatic calibration, (8) low running cost

Paperless Recorder "PHR" "PHW"

Masaki Shinoda Hisahiro Konno Junichi Nishijima

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.174−178 (2008)

Applications of paperless recorders are expanding. Paperless recorders which allow measured data to be displayed on a front display panel and also to be recorded in memory as a digital value, are therefore useful in post-processing applications such as statistic analysis. Furthermore, when connected to a LAN, data transmission and e-mail sending functions are also possible. In addition to a 5.7-inch size, a 12.1-inch large size model has also been released. This paper describes the functions and specifications of Fuji Electric's paperless recorders.

直接挿入形ジルコニア式酸素計「ZFK8/ZKM」

加藤　修久　　　宇津木 喜弘　　　乾　貴誌
富士時報　Vol.81 No.2 p.183-186（2008）

エネルギー問題や環境問題が近年注目されている中で，燃焼制御・管理に使用される酸素計は，過酷な環境下でも安定的で，かつ高速応答の測定が求められている。そのため，煙道などに直接挿入できる酸素計の重要性は増している。本稿では，ジルコニア酸素センサの測定原理の説明と，新製品である直接挿入形ジルコニア式酸素計の検出器「ZFK8」と変換器「ZKM」の信頼性と，使いやすさ，安全性などの特徴について紹介する。

ZFK8/ZKM In Situ Zirconia Oxygen Analyzer

Nobuhisa Kato Yoshihiro Utsuki Takashi Inui

Fuji Electric Journal Vol.81 No.2 p.183–186 (2008)

Amid recent concerns about energy and environmental issues, the oxygen analyzers used to control and manage combustion are required to be stable even in severe environments and to be capable of taking measurements with a fast response time. Thus, *in situ* type oxygen analyzers that can be inserted directly into a chimney or the like are becoming increasingly important. This paper explains the measurement principles of the zirconia oxygen analyzer and describes characteristic features, such as the reliability, ease of use and safety of the ZFK8 detector and ZKM transducer for Fuji Electric's new *in situ* zirconia oxygen analyzer.

e-Front runners

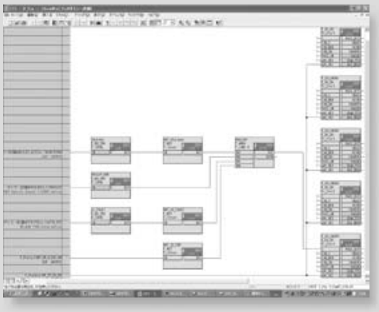
安全計装なら、富士電機。

統　合	標準制御システムと同一環境に統合
信　頼	IEC安全規格に準拠、TÜVによる認証
解　析	緊急シャットダウン時の要因解析が容易
節　約	設置スペース、配線コスト、試験時間の節約

新情報制御システム
MICREX-NX
安全計装システム

micrex-nx　検索

安全計装のエンジニアリング

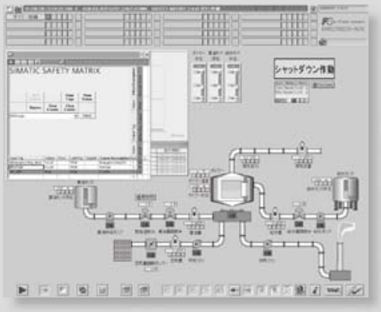


セーフティマトリックスから安全制御ロジックを自動生成します。

セーフティマトリックス

表形式で安全条件を入力。表の交差で異常状態と安全動作を関連づけます。

制御システムの監視画面



セーフティマトリックスのオンライン表示により、安全計装システムの作動にさらに迅速かつ適確に対応します。

富士電機システムズ
e-Front runners

〒191-8502　東京都日野市富士町1番地
TEL.042-585-6165　http://www.fesys.co.jp/sougou/seihin/micrex-nx/

昭和 40 年 6 月 3 日　第三種郵便物認可　平成 20 年 3 月 10 日発行（年 6 回 1，3，5，7，9，11 月の 10 日発行）富士時報　第 81 巻　第 2 号（通巻第 849 号）

e-Front runners

本誌は再生紙を使用しています。

雑誌コード 07797-3　　定価 735 円（本体 700 円）